

Universidad Nacional de Ingeniería

UNI – NORTE



“Validación del uso de un secador Solar de Café en
pergamino, en fincas de pequeños productores del
municipio de San Rafael del Norte”



Trabajo de monografía para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autores

1. Julio Alberto Castellón López
2. Walter Lenin Espinoza Vanegas

Tutor: Luis María Dicovski Riobóo

Lugar: Estelí - Nicaragua

Fecha: 24/10/09.

Dedicatoria

Julio A. Castellón

Dedico este valioso y significativo logro primeramente a Dios, por ser mi guía y fortaleza. A mi familia por ser el motivo y la causa de mi lucha para llegar a culminar mis estudios; por ser la razón principal de donde obtuve el esfuerzo necesario para poder alcanzar esta meta y por enseñarme, no con palabras, sino con su amor que las limitaciones económicas no representan un obstáculo para poder alcanzar un sueño.

Walter Lenin Espinoza Vanegas

Este logro lo dedico primeramente a DIOS por estar siempre a mi lado guiándome y dando fortaleza en los momentos difíciles, a mi papa' y mi mama', especialmente a mi madre María Teresa Vanegas Castellón; por ser la persona que más me ha motivado y ayudado en el transcurso de mi vida y a culminar mi carrera universitaria.

Agradecimiento

Al sub- Director de la UNI-NORTE, el Ing. Msc. Luis María Dicovski y Riobò, por ser nuestro tutor y amigo. Al programa del FUNICA, por financiarnos el proyecto de investigación y brindarnos la información necesaria en lo referido al tema del secado tradicional de café. También a la cooperativa PRODECOOP (Palacagüina), por permitirnos realizar la validación del secador solar en sus instalaciones (beneficio seco).

A la cooperativa Tepeyac, por colaborarnos en la ubicación de las fincas en donde se realizarían las pruebas; al técnico de la cooperativa Saúl Rógama, por ubicarnos en las fincas de los productores y encargarse de secar las muestras para Catación y al ingeniero Jaime Tercero. También a los productores de la comunidad de San Rafael del Norte (Henry Úbeda: finca río grande, José Enrique Gutiérrez: finca los dos hermanos, Reinaldo Pineda: finca el socorro).

A la empresa exportadora ATLANTIC (Ocotlán), por apoyarnos con las pruebas de catación. En especial al señor Gonzalo Castillo y a la profesora Alba Díaz de la UNI-NORTE, por conseguirnos el contacto.

A nuestro colega y amigo Cristian Natanael Triminio, por contar con su ayuda en la realización de las validaciones del Secador solar en San Rafael Norte y Palacagüina.

A nuestro amigo el profesor Federico Moreno, por contar con su apoyo en la revisión de la redacción y ortografía del documento.

INDICE

I. Introducción	9
II. Antecedentes	11
III. Justificación	12
IV. Objetivos	14
V. Marco Teórico	15
5.1 Calidad del Café	15
5.2 Catación	15
5.3 Secado	16
5.3.1 Factores que influyen en la velocidad del secado	16
5.4 Secadores de combustión para Café	17
5.4.1 Secadoras de flujo cruzado	17
5.4.2 Secadora de tambor rotativo	18
5.4.3 Secadores de lecho fijo	18
5.5 Tipos de Secadores solares para Café	20
5.5.1 secador solar multipropósito	20
5.5.2 Secador solar de tambor rotativo	21
5.5.3 Secador solar parabólico	22
5.5.4 Secador Solar Indirecto por Convección Forzada	23
5.5.5 Secador solar de tipo Túnel	23
5.5.6 Secador solar parabólico (Prototipo Evaluado)	24
5.6 Clasificación de café por resultado de secado según el grado de Humedad	26
VI. Hipótesis	27
VII. Metodología	27
7.1 Instrumentos y materiales Utilizados	29
7.2 Diseño del secador parabólico de tipo invernadero	29
7.2.1 Materiales para la Construcción del secador	30
7.2.2 Área del Secador	31
7.3.1 Experimentos en Estelí	32
7.3.2 Experimentos en el Beneficio Húmedo	32

7.3.3 Experimentos en el Beneficio Seco 2008	34
7.4 Rentabilidad económica.....	35
7.5 Propiedades organolépticas.....	36
7.6 El análisis y procesamiento de la información	36
VIII. Etapas del proceso de investigación.....	37
IX. Resultados parciales de cada etapa de la investigación.....	46
X. Resultados Generales	59
Análisis Económico	65
XI. Discusión de Resultados.....	66
XII. Conclusiones	68
XIII. Recomendaciones.....	71
XIV. Bibliografía	73
XV. ANEXOS	77

INDICE DE GRAFICOS

Resultados parciales

Gráfico N°: 1, Diferencias de Temperatura (2007-2008).....	48
Gráfico N°:2, Variaciones de Temperatura (2007-2008).....	49
Gráfico N°: 3, Grafica N°: 4, Humedad Relativa (2007-2008).....	49
Gráfico N°: 5, Gráfico N°: 6, % pérdida de Peso (2007-2008).....	50
Gráfico N°: 7, Diferencias de Temperatura (PRODECOOP, 2008).....	52
Gráfico N°: 8, Diferencias de Temperatura (2008-2009).....	54
Gráfico N°: 9, Variaciones de Humedad Relativa (2008-2009).....	54
Gráfico N°: 10 Variaciones de Temperatura (2008-2009).....	55
Gráfico N°: 11, Gráfico N°: 12, % Pérdida de Peso (2008-2009).....	56

Resultados generales

Gráfico N°: 13 , Temperatura y horas de secado (secador y testigo).....	60
Gráfico N°: 14 , Intervalos de confianza (Temperatura secador y testigo).....	60
Gráfico N°: 15 , Gráfico N°: 16 , Temperatura del Secador y Testigo.....	61
Gráfico N°: 17 , Regresión lineal entre T° y H.R.....	62
Grafica N°: 18 , Gráfico N°: 19 , % Pérdida de peso en el secador y testigo.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla N°: 1 , Diferencia de Temperatura (2007-2008).....	48
Tabla N°: 2 , Humedad Relativa (2007-2008).....	50
Tabla N°: 3 , Diferencia de Temperatura (PRODECOOP, 2008).....	52
Tabla N°: 4 , Diferencias de Temperatura (2008-2009).....	54
Tabla N°: 5 , Variaciones de Humedad Relativa (2008-2009).....	55
Tabla N°: 6 , Velocidad de entrada y de salida del Aire (Secador Solar).....	57
Tabla N°: 7 , Estadísticos descriptivos de la Temperatura en San Rafael.....	61

INDICE DE FIGURAS

Figura N°: 1 , Secador de Flujo Cruzado	17
Figura N°: 2 , Secador de Lecho Fijo.....	18
Figura N°:3 , Secador Solar Multipropósito.....	20
Figura N°:4 , Esquema del secador rotativo.....	21
Figura N°:5 , Secado solar Parabólico.....	22
Figura N°:6 , Esquema del secador Solar Indirecto.....	23
Figura N°:7 , secador Solar de Túnel.....	23
Figura N°:8 , Manipulación de los granos de Café.....	23
Figura N°:9 , Secador Solar Parabólico (Prototipo Evaluado).....	24
Figura N°:10 , Ubicación de la chimenea.....	24

Figura Nº:11, Café en pergamino Oreado.....	26
Figura Nº:12, Café en pergamino Húmedo.....	26
Figura Nº:13, Café en pergamino Mojado.....	26
Figura Nº:14, Esquema del Secador Solar.....	31
Figura Nº:15, Finca Rio Grande y la ubicación del Secador.....	37
Figura Nº:16, Tarima de dos pisos utilizada adentro del Secador solar de Café.....	39
Figura Nº:17, Tarima utilizada como testigo (al aire libre) para la realización del Secado.	39
Figura Nº:18, Interior del secador y aparatos utilizados en el Experimento.....	41
Figura Nº:19, Testigo en plástico negro (Café en Pergamino), Toma de muestras.....	41
Figura Nº:20, Finca El Socorro y la ubicación del secador.....	43
Figura Nº:21, Parte trasera del secador y la ubicación de la chimenea.....	44
Figura Nº:22, Testigo en tarimas (Café en Pergamino).....	44
Figura Nº:23, Tarimas del interior del secador (Café en Pergamino), toma de muestras.....	45
Figura Nº:24, Secador solar y el testigo.....	47
Figura Nº:25, El retiro de granos fallados o dañados por la despulpadora.....	47
Figura Nº:26, Ventana lateral del secador.....	53
Figura Nº:27, Compuerta de entrada de Aire.....	53
Figura Nº:28, Validación2007-2008.....	59
Figura Nº:29, Validación2008-2009.....	59
Figura Nº:30, Ensayo de armado del secador en la UNI-NORTE.....	65
Figura Nº:31, Esquema y armado de la estructura en Finca del productor.....	65
Figura Nº: 32, Perspectiva del secador	Figura Nº:33, Lado derecho del secador.....69
Figura Nº:34, café expuesto a contaminación	Figura Nº:35, café expuesto a lluvias.....70
Figura Nº: 36, Armazón del secador	Figura Nº:37, El forrado inicial.....70

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°:1 , Etapas del secado.....	77
Anexo N°:2 , Hoja de toma de datos del Testigo.....	81
Anexo N°:3 , Hoja de toma de datos del secador (tarima del primero y segundo piso).....	82
Anexo N°:4 , Hoja de toma de datos del secador (utilizando tarimas de un piso).....	83
Anexo N°:5 , Hoja de toma de datos del secador (velocidad del Aire).....	84
Anexo N°:6 , Tabla de Resumen de Discusión de Resultados.....	85
Anexo N°:7 , Tabla de Costos del secador (Estructura).....	86
Anexo N°:8 , Tabla de depreciación del secador solar.....	86
Anexo N°:9 ,Costos del Secado tradicional (60 días).....	87
Anexo N°:10 , Costos de secado al usar el secador solar (30 días efectivos).....	87
Anexo N°:11 , Registros de control de prueba de catacion (Etiquetas de las muestras del secado del Café en pergamino).....	88
Anexo N°:12 , Detalle de muestra 7.....	90
Anexo N°:13 , Detalle de muestra 8.....	92
Anexo N°:14 , Detalle de muestra 9.....	94
Anexo N°:15 , Detalle de muestra 10.....	96
Anexo N°: 16 , Fotos del secador.....	98

Resumen

Se “evaluó” la factibilidad técnica y económica de utilizar un secador solar de café en pergamino en fincas cafetaleras de los pequeños productores de la comunidad de San Rafael del Norte, con la finalidad de aportar una mejora en la técnica de secado del café en esa zona. El secador se evaluó en dos ciclos de cosecha, 2007-2008 y 2008-2009, en el beneficio húmedo de tres fincas en San Rafael del Norte a diferentes alturas (1115, 1154 y 1175 Msnm) y también se hizo una prueba experimental en un beneficio seco de café en Palacagüina, a 650 Msnm, para conocer el potencial del secador en condiciones de mayor temperatura. El funcionamiento del secador solar se basó en que: una corriente de aire frío entraba por una compuerta inferior, al calentarse el aire este disminuía su densidad, se elevaba, generándose una corriente de aire caliente que desplazaba el vapor de agua que se encontraba en la parte superior del café pergamino, así se absorbía la humedad del grano, que por medio de esta corriente de aire, la humedad del grano era arrastrada hacia la chimenea del secador. En los dos ciclos de evaluación, se lograron obtener gradientes de temperatura entre 10 °C y 25 °C en comparación con el ambiente. También se lograron obtener temperaturas máximas hasta de 60 °C y una temperatura promedio de 8 °C en relación con el ambiente. El secador solar redujo el tiempo de secado hasta un 50% y se demostró su factibilidad económica.

I. Introducción

El contenido de humedad de la cereza del café está entre el 50 y el 60 por ciento del peso total, dependiendo del tipo de fruto y sus condiciones. Las cerezas ya secas, bolas o capulines contienen de 15 a 25 por ciento de humedad. Para que el grano de café pueda ser embodegado, y posteriormente comercializado, se recomienda una humedad de alrededor del 12%.

El principal factor que influye en la calidad del café almacenado es la humedad. Los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos e insectos que dañan al producto y deterioran su aspecto.

El secado es el método de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire del ambiente, de tal forma que preserve su aspecto, su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla. (MARCALA, 2010)

El secado consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspasarla al ambiente. La rapidez de este proceso depende de la velocidad del aire, su grado de sequedad y su temperatura, así como de las características del producto, su composición, su contenido de humedad y el tamaño. La cantidad de agua que el aire puede absorber depende, en gran medida, de su temperatura. A medida que el aire se calienta, su humedad relativa decae y puede absorber más humedad.

El uso de secadores solares para el secado de café pergamino responde a una tendencia en el desarrollo de tecnologías sustentables, que permitan proteger al grano de las condiciones climatológicas adversas, obtener un grano seco de calidad y lograr el secado en días con radiación solar difusa.

En la etapa del secado es cuando más daños pueden sufrir los granos, si no se realiza inmediatamente después de haberse lavado, se presentan granos negros, mohosos, fermentados, mal oliente, el pergamino se mancha y consecuentemente el rendimiento en peso es menor. Cuando el grano es secado adecuadamente, se hace fácilmente conservarlo por lo que se evita un posible desarrollo de mohos, al mismo tiempo que se garantiza su buen gusto y aroma.

Con el presente trabajo de investigación se buscó “evaluar en finca” de pequeños y medianos productores un prototipo de secador solar de café en pergamino, realizando comparaciones con el secado tradicional, para conocer su efecto en los tiempos de secado, que en términos monetarios favorecen la economía del productor y como inciden estos en la calidad del café. Se tomó como referencia para realizar los experimentos el municipio San Rafael del Norte, por ser ésta una zona representativa del “café de altura” donde se cosechan los cafés de “buena calidad” de exportación.

II. Antecedentes

El tema del secado de café es de importancia debido a que si no se reduce el porcentaje de humedad, se desarrollan microorganismos que afectarían su calidad.

En Nicaragua el café es secado de manera convencional utilizando patios de secado. En otros países tales como Guatemala (Palacios, 2008), Bolivia, Perú (TAQUIRI, 2008) y Colombia (Oliveros C., Ramírez, C. Sanz, J.; Peñuela A, 2006) se han desarrollado investigaciones sobre este tema, logrando obtener resultados positivos en cuanto a tiempos de secado.

El secado de productos empleando la radiación solar tiene importantes antecedentes en Cuba, y entre ellos se destacan los exitosos trabajos experimentales del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), de Santiago de Cuba, entre 1984 y 1993, seguidos por el Grupo Solar del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), en La Habana, y más recientemente por el Grupo de Energía Solar de CUBAENERGÍA. (Delgado M., Leiva G., Perdigón Z., Bériz L., 2009)

Experiencias en Bolivia, se realizó pruebas de secado de café en la región de los Yungas (1997 – 1998), utilizando sistemas solares e híbridos; estos últimos sistemas que combinan el uso de energía solar con biomasa para garantizar la continuidad del secado también bajo condiciones adversas del tiempo. Esta tecnología es también destinada al pequeño agricultor (Mayer Falk R., Falk Solar. 2004). En base a esta experiencia se decidió utilizar un modelo parecido al validado en Bolivia y se retomaron algunos factores en el diseño de este, realizándole algunas modificaciones para adaptarlo al contexto en que se realizarían las pruebas experimentales en la comunidad de San Rafael del Norte.

III. Justificación

El café es uno de los productos agrícolas que más divisas genera al país. Las ventas de café al exterior, de octubre de 2010 a febrero de 2011, sumaron US\$153.8 millones, mientras que de octubre de 2009 a febrero de 2010 fueron de US\$85.7 millones, según detalló el Centro de Trámites de las Exportaciones.(Prensa libre, 2011)

Durante los cinco primeros meses de la cosecha actual el precio del quintal —45 kilos— de café alcanzó un promedio de US\$204.13, mientras que en el mismo período de la cosecha 2009-2010 se cotizó a US\$139.51. Por lo tanto cualquier investigación que se realice para mejorar la producción o su procesamiento es de gran importancia para el sector y la economía nacional. (Prensa libre, 2011)

La forma tradicional de secado de café en San Rafael del Norte, es al aire libre en tarimas donde se exponen los granos húmedos directamente a los rayos del sol durante varios días, removiéndolo periódicamente hasta alcanzar la reducción de humedad.

El sistema de secado en patio es muy simple y barato, pero implica mucho movimiento del café, pues debe protegerse de lluvias repentinas; del polvo, basura y los animales. Además que se debe cubrir o guardar por las noches.

Estas actividades contribuyen a conservar sus características organolépticas, pero es importante mencionar que por efectos de lluvia el café se transporta a las cooperativas con un 52% o 55% de humedad y al productor se le aplica un castigo del 15 % conforme al peso del producto mojado, considerando que la calidad del café se logra mantener realizando un buen oreado.

El secado de café pergamino es una operación muy importante en el beneficio húmedo, para reducir el contenido de humedad hasta un nivel adecuado para inhibir el desarrollo de hongos que producen toxinas como la ocratoxina A (OTA), que es producida por especies de dos géneros de hongos: los *Aspergillus* y los *Penicillium*, que se producen naturalmente en los cereales, las uvas, el café y el cacao.

La Ocratoxina A (OTA), es tan peligrosa que expertos de la FAO y la Organización mundial de la salud (OMS), han establecido un límite máximo tolerable para los humanos de 100 milmillonésimos de gramo por kilogramo de peso corporal a la semana. En 2004, la Unión Europea estableció límites máximos admisibles para la OTA de cinco ppb (partes por billón) en el café tostado y molido, y diez ppb en el café instantáneo. No se han anunciado límites para el café verde. (FAO, 2006)

El secado del café es una fase crítica de transición entre el café húmedo -estado en el cual algunos organismos hidrofílicos y la fisiología de la semilla obstaculizan la formación de mohos toxicogénicos y de descomposición- y el café totalmente seco, en el que no se pueden formar mohos. Los niveles intermedios de humedad son un entorno propicio para los organismos productores de OTA. (FAO, 2006)

El café que ha estado en contacto con el suelo varios días representa un riesgo de OTA (FAO, 2006). Debido a los problemas que presenta el secado de café en patio se considerará necesario desarrollar una tecnología apropiada para secar el café haciendo uso de la radiación solar como energía limpia, para calentar el aire que al mismo tiempo se encarga de reducir la humedad del grano; además para obtener café con un contenido de humedad final uniforme y reducir el tiempo de secado.

IV. Objetivos

4.1. Objetivo General

- ❖ “Evaluar la factibilidad técnica y económica de un prototipo de secador solar de café”, en fincas de pequeños productores de la comunidad de San Rafael del Norte, con la finalidad de aportar una mejora en la técnica de secado del café en esa zona.

4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Construir un secador solar para café en pergamino y adaptarlo a las condiciones de producción de las pequeñas fincas, como las de la zona de San Rafael del Norte, en el departamento de Jinotega.
- ❖ Evaluar el desempeño del secador solar oreando café pergamino, en fincas de pequeños productores de San Rafael del Norte.
- ❖ Determinar la rentabilidad económica del secador solar de café.
- ❖ Determinar las propiedades organolépticas del café secado en el secador comparándolo con el café secado convencionalmente.

V. Marco Teórico

“En una innovación tecnológica no sólo las características técnicas son importantes, sino también el proceso por el cual una población se apropia de ella. Los secadores solares pueden parecer una tecnología muy simple, pero deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones; las temperaturas que alcance el secador, el tiempo de secado, la humedad relativa, la ubicación en la finca y la calidad del secado”.

5.1 Calidad del Café

Para la comercialización y valoración del café, las características sensoriales son más importantes que el valor nutritivo. Sin embargo, la calidad de un café puede significar diferentes cosas para diferentes personas por ejemplo contenido de humedad, la apariencia, la presencia de materiales extraños, el tamaño, el color y el olor del grano en pergamino, y tostado, constituyen su calidad física; resultado del control que se haya logrado en el cultivo, la cosecha, el beneficio, la trilla. (Wheeler 2001)

El proceso de beneficio tiene marcada influencia sobre la calidad del café; éste permite conservar o degradar las características sensoriales de la bebida, de tal forma que en el mercado mundial se distinguen los cafés procesados por la vía húmeda y seca. (Fajardo F.; Sanz J., 2006)

5.2 Catación

La catación es la prueba organoléptica o sensorial aceptada internacionalmente para la comercialización del café. Esta prueba de evaluación es realizada por un especialista llamado Catador. Éste posee amplios conocimientos, experiencia y habilidades naturales para poder percibir cada uno de los atributos y defectos que

pueda tener el café (Lingle 1999;), por lo que el secado es una etapa importante en el proceso de producción del café.

5.3 Secado

El secado consiste en bajar el contenido de humedad presente (55 % aproximadamente) en el pergamino húmedo de café hasta un 12 % (ANACAFE 1999).

El secado en patio es el más típico y generalizado de los sistemas de secado de café el cual consiste en exponer los granos húmedos durante varios días a los rayos directos del sol sobre una superficie de cemento o madera. (INMECAFE, 1990)

El tiempo de secado depende de las condiciones ambientales del lugar, de la cantidad de producto. (Oliveros C.; Ramírez C., Sanz J.; Peñuela A., 2006)

El secado de granos es una alternativa viable, donde se elimina agua del producto mediante el empleo de aire atmosférico a bajas temperaturas (65 °C para el caso de arveja verde, y 50 °C en el caso de arroz y café). (Restrepo A., Burbano J., 2005)

5.3.1 Factores que influyen en la velocidad del secado

Temperatura de secado

Es una propiedad de la materia. Es una medida del nivel de presión térmica de un cuerpo. Se ha demostrado que la temperatura es una función de la energía cinética interna y como tal es un índice de la velocidad molecular promedio. (Santana, 2002)

Humedad relativa

Se define como la relación entre el peso del vapor agua contenido en 1 kg de aire y el peso del vapor de agua contenido en 1 kg de aire saturado, a una temperatura determinada. (TAQUIRI, 2008)

Eficiencia térmica del secado

Se define como la “relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada durante el proceso” $\text{Eficiencia} = (\text{Kilos de agua evaporada} / (\text{Área de secado} (\text{Días de secado})))$ Para los efectos de calcular este término no se incluye la energía para remover el producto. (TAQUIRI, 2008)

5.4 Secadores de combustión para Café

5.4.1 Secadoras de flujo cruzado

El secador de flujos cruzados es el que más se usa en el mundo, gracias a su popularidad en los Estados Unidos. Dicha popularidad se deriva de los principios simples de su construcción y funcionamiento, Junto con el costo Inicial más moderado, en comparación con otros tipos de secadores

Los secadores de flujos cruzados se caracterizan por el paso del aire perpendicular a una capa de granos, que se mueven entre planchas perforadas.

Esos secadores pueden tener diversas configuraciones y la forma comercial más común es el secador de tipo torre, fijo a una fundación permanente.

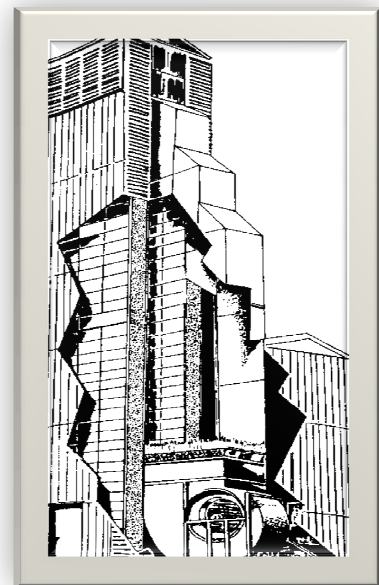


Figura Nº: 1, Secador de Flujo Cruzado

La torre puede ser circular, con la capa de granos rodeando el quemador y el ventilador, o bien rectangular, con columnas de granos en dos o en los cuatro costados. (OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE, Santiago, Chile 1993)

5.4.2 Secadora de tambor rotativo

Este es el tipo de secado universal por excelencia, consiste básicamente en un tambor rotativo en el que se introduce tanto el producto a secar como el fluido térmico de secado a una temperatura elevada (300 a 800°C). El producto se mezcla constantemente, el espesor de la película se regula mediante un cuchillo repartidor, al ir girando el tambor, el líquido o solución se calienta inicialmente hasta su punto de ebullición, este se evapora en el aire mediante el calor transferido a través del metal en el tambor. El material seco se desprende continuamente de su superficie mediante un cuchillo, finalmente, el sólido seco se calienta hasta que posea, una temperatura próxima a la temperatura de la superficie del tambor. (Paulo Cesar, Alfonso Junior, 2001)

5.4.3 Secadores de lecho fijo

El secado de lotes de granos y semillas en un secador de lecho fijo es una operación simple. El costo inicial para la instalación de este sistema de secado puede estar al alcance de la gran mayoría de los agricultores, ya que es más bajo que el de un secador comercial. Otro aspecto interesante de este tipo de secador

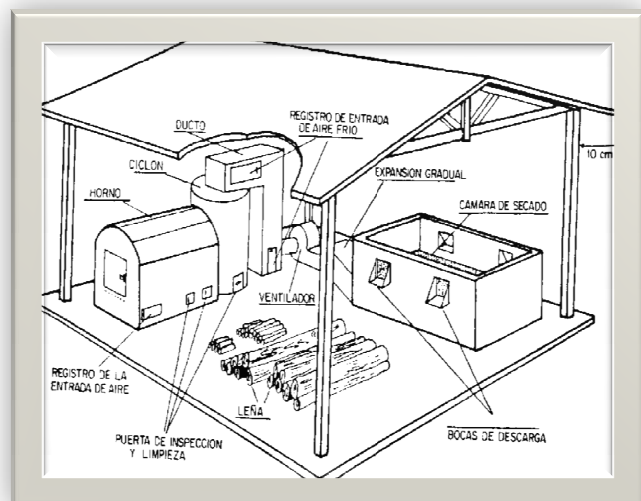


Figura N°2, Secador de Lecho Fijo

es su versatilidad, puesto que se pueden secar diferentes granos y semillas: café en "cereza", frijol en vaina, maíz en mazorca, yuca en trozos y cacahuete en rama o desgranado. Este tipo de secador también puede ser utilizado para curar bulbos de ajo y cebolla. Las partes que componen el secador de lecho fijo son: i) la cámara de secado, ii) un piso de lámina o chapa metálica perforada, iii) una cámara de distribución del aire con expansión gradual, iv) un ventilador para mover el aire y v) un horno de calentamiento. La construcción en su mayor parte es de albañilería. (OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE, Santiago, Chile 1993)

Lámina chapa perforada: La chapa perforada tiene el objetivo de sustentar el producto y permitir el paso de aire por la masa de granos.

Cámara de distribución de aire con expansión gradual: Su principal función, por lo tanto, es reducir la velocidad del aire que sale del ventilador. La expansión se debe calcular de modo que el ángulo de abertura sea el menor posible para que la pérdida de presión del ventilador no sea muy elevada; sin embargo, se debe tener en cuenta la longitud de la expansión para que el ventilador no quede muy lejos de la cámara de distribución del aire, y para no aumentar innecesariamente el tamaño del conjunto.

Ventilador: El flujo de aire que se utiliza para el secado de granos en este tipo de secador varía de 10 a 30 m³ de aire por cada metro cúbico de producto. La temperatura del aire de secado varía entre 35°C a 70°C. Se recomienda que el ventilador esté conectado al motor por medio de correas o bandas de transmisión, ya que el aire de secado (aire caliente) pasa por el ventilador. La presión que el ventilador suministra al aire se debe calcular considerando el producto que presenta mayor resistencia al paso del aire.

Horno para calentamiento del aire: Para calentar el aire se puede utilizar cualquier tipo de horno o quemador. El combustible que se utiliza depende del tipo de horno o quemador y pueden ser los subproductos agrícolas, la leña, derivados del petróleo, gas metano, propano, etc.

5.5 Tipos de Secadores solares para Café

En esencia un deshidratador solar es un aparato que aprovecha la energía solar para calentar aire, provocando por convección, una corriente de aire caliente que pasa entre los productos colocados en su camino, secándolos, y arrastrando la humedad al exterior por una chimenea. (Maocho, 2009)

5.5.1 secador solar multipropósito

Está constituido por una estructura de perfiles metálicos en forma de paralelepípedo. Posee doble cubierta de vidrio transparente en la parte superior y laterales flanco Este y Oeste. Los vidrios se fijan con juntas y separadores que garantizan la impermeabilización.

El secador se ubica con su dimensión mayor (largo) en la dirección Norte-Sur. Para el acceso a la cámara de secado el secador tiene en su interior un túnel metálico ennegrecido con pintura negro mate, el cual capta la radiación solar incidente y la transfiere al aire del interior de la cámara de secado. Dentro del equipo existen zarandas de malla metálica sobre las que se coloca la carga.



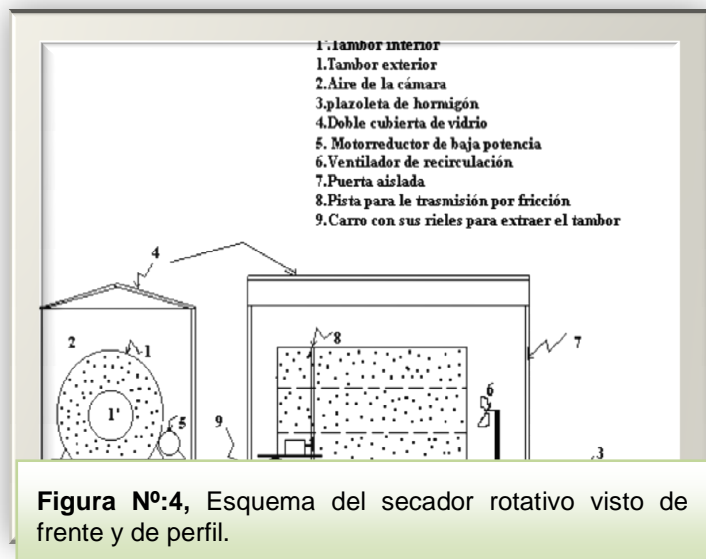
Figura Nº:3, Secador solar Multipropósito

Dentro del secador se efectúa el movimiento del aire forzado por tres ventiladores de tiro axial, situados en el espacio comprendido entre la cubierta superior de vidrio y el techo del túnel metálico. Estos ventiladores garantizan el flujo de aire en la dirección transversal, necesaria para lograr el secado uniforme del grano. El equipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco del medio en los laterales Norte y Sur. En el secador solar multipropósito es posible secar $12,12 \text{ kg/m}^2$ en 3 días efectivos de sol, equivalentes a $4,04 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{día}$. (Abdala J., Fonseca S., Pantoja J. y Gen A., 2003)

5.5.2 Secador solar de tambor rotativo

Está constituido por una estructura metálica en forma de paralelepípedo, a partir de perfiles angulares soldados entre sí. Posee doble cubierta de vidrio transparente (con juntas y separadores de goma) colocadas en la parte superior a dos aguas y en los laterales flanco Este y Oeste. Está orientado en la dirección Norte a Sur, cerrado en ambos extremos con puertas metálicas aisladas térmicamente.

El tambor colocado en el interior de la cámara de secado está formado por un doble cilindro metálico de chapa de acero perforada, y es el encargado de captar la radiación solar incidente que atraviesa la doble cubierta de vidrio. En el espacio anular entre los dos cilindros se coloca el producto por secar. Los extremos se han cerrado mediante soldadura de chapa de acero, lo que permite la rotación de los



dos cilindros unidos entre sí como un solo cuerpo. El tambor gira a una velocidad de 6 r/min a través de un mecanismo de motor reductor y transmisión por fricción.

El tambor se desplaza sobre rieles en el sentido longitudinal hacia adentro o fuera de la cámara de secado para las operaciones de carga, descarga o mantenimiento. Se dispone de un ventilador auxiliar axial de 120 W que realiza el tiro forzado del aire desde la cámara hacia el interior del espacio anular (lugar donde se colocan los granos de café para secar) con el propósito de mantener la uniformidad de las propiedades termo físicas del aire en la cámara. En el secador solar de tambor rotatorio es posible secar 14 kg/m^2 en 5 días efectivos, equivalentes a $2,9 \text{ kg/m}^2\cdot\text{d}$. En ambos casos la calidad del producto es satisfactoria.(Abdala J., Fonseca S., Pantoja J. y Gen A., 2003)

5.5.3 Secador solar parabólico

El secador solar con cubierta parabólica es una máquina con estructura en la misma forma, que facilita el secado de café pergamino. El sistema básico empleado por este secador es de tipo invernadero, donde como su nombre lo indica, aprovecha este fenómeno para producir una concentración de calor debido al principio físico que involucra. (Restrepo A. & Burbano J., 2005)



Figura N°:5, Secado solar Parabólico (método por convección natural).

5.5.4 Secador Solar Indirecto por Convección Forzada

Aquí el movimiento de aire se realiza por convección forzada, debido a que el tamaño del área de colección no permite convección natural. El secador es de tipo Indirecto, usando una cámara de secado separada, sin acceso para la radiación, lo cual resulta beneficioso en el caso de productos cuya calidad se ve perjudicada por la acción de la radiación, como en el caso del arroz. (Restrepo A. & Burbano J., 2005)

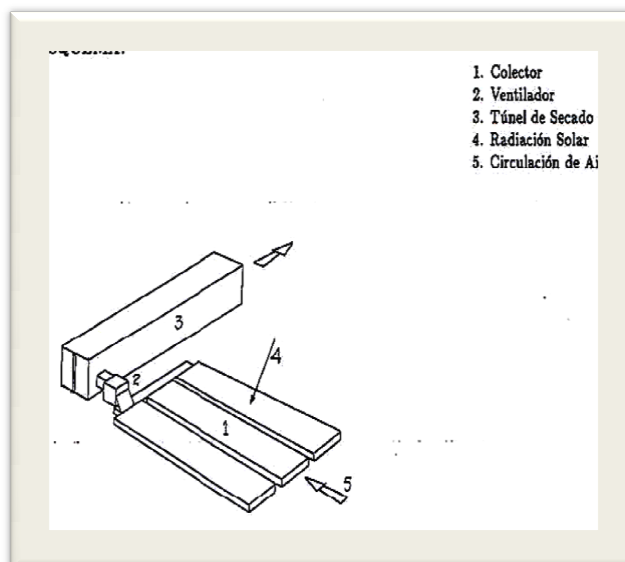


Figura Nº:6, Esquema del secador Solar Indirecto, (método de secado por convección forzada).

5.5.5 Secador solar de tipo Túnel

Este al igual que el secador parabólico consta de una estructura de bambú o construida en otros materiales disponibles en la finca o en la región, una cubierta plástica transparente, un piso de malla plástica y compuertas enrollables de plástico transparente. El secador solar de túnel dispone de una superficie de 20 m², adecuada para atender el secado de café de una finca con producción anual de 1500 kg de café por ciclo. Sin embargo, las dimensiones se pueden acomodar a otras producciones. Este logra alcanzar temperaturas máximas de hasta 50 °C y en días muy soleados con capas de 3 cm el secador puede tardar de 3 a 4 días y en días lluvioso 9 días. (CENI-CAFÉ, 2006)



Figura N°7, secador Solar de Túnel



Figura N°8, Manipulación del los granos de café

5.5.6 Secador solar parabólico (Prototipo Evaluado)

El secador solar con cubierta parabólica es una máquina con estructura en la misma forma, que facilita el secado de café pergamino. El sistema básico empleado por este secador es de tipo invernadero, aprovecha este fenómeno para producir una concentración de calor debido al principio físico que involucra. (Restrepo A., Burbano J., 2005)



Figura N° 9: Secador Solar Parabólico



Figura N° 10: Ubicación de la chimenea.

Chimenea

No es imprescindible, basta una buena salida del aire caliente. En casi todos los casos es simplemente un tubo que se conecta en la parte superior de la cámara con algún tipo de tapa que evite la entrada de agua de lluvia. (Maocho, 2009)

Principio de funcionamiento

El secado del material (colocado en bandejas o capas en carros portadores a lo largo de la cámara de secado, ubicada debajo y a lo largo de la cámara de calentamiento) se realiza por el paso continuo del aire caliente a través del material, que produce un intenso proceso de intercambio de calor y masa, durante el cual la humedad superficial del material se incorpora al aire por evaporación, en la medida en que el aire transfiere su calor. (Delgado M., Leiva G., Perdigón Z., Bériz L., 2009)

Aspectos a considerar en el secador

Los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar son complejos ya que en éstos influyen variables como la intensidad de la radiación solar (un día soleado tiene una intensidad en la superficie terrestre de $1\text{kJ/s}\cdot\text{m}^2$, y en 10 horas de sol se tendrían disponibles 36.000kJ/m^2), la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire, el contenido de humedad y el espesor de la capa de granos, caso en el cual interviene la frecuencia utilizada para revolver la masa de granos. (Martínez D.& Álvarez J., 2006)

5.6 Clasificación de café por resultado de secado según el grado de Humedad



Figura Nº:11, Café en pergamino Oreado

- 1- **Oreado:** El café presenta un color crema uniforme, el grano comienza a separarse del pergamino y se facilita el desprendimiento con la uña, al agitarse entre las manos emite un sonido seco claro y al morder tiene consistencia dura y se corta no se aplasta. (Martínez & Álvarez, 2006)



Figura Nº:12, Café en pergamino Húmedo

- 2- **Húmedo:** El pergamino presenta un color opaco y oscuro, al sacudirlo entre las manos emite un sonido ronco y al morder el grano se aplasta por consistencia suave. Este café se le deduce hasta un 8% del peso para su conversión a oreado. (Martínez & Álvarez, 2006)



Figura Nº:13, Café en pergamino Mojado

- 3- **Mojado:** Es muy difícil de confundirse ya que el pergamino tiene agua en la superficie y cuando se introduce la mano en una masa de café los granos se quedan adheridos a la piel. En casos extremos cuando se coloca en una báscula el saco dreña agua mojando la plataforma. Este café recibe una deducción hasta de 14 % del peso para su conversión a oreado. (Martínez & Álvarez, 2006)

VI. Hipótesis

El prototipo de secador evaluado, reducirá significativamente el tiempo de secado en fincas, aprovechando la energía solar, con costos asequibles y además que no afectará las características organolépticas del grano de Café.

VII. Metodología

Diseño experimental

Se realizaron dos tratamientos apareados: testigo (oreado tradicional) y el secador, con repeticiones en el tiempo de secado y en diferentes fincas. Se evaluaron las mismas variables en el testigo y en el secador. Las variables que se midieron fueron temperatura en grados Celsius, humedad relativa, velocidad del aire, peso de la muestra y tiempo de secado. Se hicieron pruebas de catación para conocer la influencia del secador en el producto final (calidad).

La etapa experimental de esta investigación se realizó en el municipio de San Rafael Norte, departamento de Jinotega. Durante las cosechas de café 2007-2008 y 2008-2009". La posición geográfica fue la siguiente: latitud ($13^{\circ} 11'$) longitud ($86^{\circ} 10'$), tiene una altura de 1,078 metros sobre el nivel del mar, y 75 metros más alto que el promedio de la ciudad de Jinotega. San Rafael es un extenso valle, en su mayoría plano, pero con ondulaciones de montañas, está rodeado por pinares.

En toda esta etapa se utilizó café en pergamino con una humedad entre 52% y 55%. Se realizaron viajes a San Rafael del Norte. En el 2007-2008 el grupo de trabajo fue distribuido en dos fincas representativas en la comunidad la Sotana de San Rafael del Norte. Cada finca con diferentes alturas (1115 y 1175 Msnm). En el 2008 se validó en Palacagüina en el beneficio seco de PRODECOOP a una altura de 650 Msnm y en el 2008-2009 se realizó de nuevo la validación en San Rafael del Norte, esta vez se tomó como referencia una tercera finca con una

altura intermedia a las anteriores 1154 Msnm, (metros sobre el nivel del mar), para comprobar cómo afecta el secado según la altura, la temperatura máxima y mínima que el secador solar puede alcanzar en esa región.

La técnica utilizada para conocer el proceso de secado, fue la de observación participativa, estableciendo relaciones de amistad con los productores y sus familias, trabajando y participando con ellos en el proceso de “caracterización del secador solar” en la cosecha y pos-cosecha del grano.

El total de fincas en las que se realizaron las validaciones fueron tres: Rio Grande, los dos hermanos y el Socorro. El tiempo promedio para la realización de las operaciones de secado con la estructura fue de tres días por cada finca. En cada una se trabajó con dos lotes de muestras diferentes de café en pergamino recién lavado. El secador solar fue colocado en dirección contraria al viento y se dejaba calentar por una hora y luego se abría la compuerta para realizar la operación de secado.

La fase de experimentación consistió en lo siguiente: en las primeras dos fincas se tomaron muestras de 20 a 25 lbs de café en pergamino para ser tratadas en el secador y se tomó la misma cantidad de muestra para ser utilizada por el testigo (secado tradicional en tarima), luego se procedió a medir el peso de la muestra al inicio, cada dos horas y al finalizar el experimento. La temperatura y la humedad relativa se medían cada hora. En la tercera finca (El socorro), se tomaron muestras de 55 lbs y se realizó la misma operación, a diferencia que se llenó el secador por completo.

La humedad relativa y la temperatura, se midió cada hora, con el objetivo de determinar cuál método de secado era más efectivo. Se observó la hora en que el

productor finalizó el secado, esto se hizo para determinar el tiempo real en que el productor seca su grano.

En el transcurso de la investigación se realizaron 7 viajes a San Rafael, 2 a Palacagüina (beneficio de PRODECOOP) y 2 a Ocotil (pruebas de catación en el beneficio de ATLANTIC). El tiempo total para poder realizar las validaciones durante las tres etapas del proyecto de tesis fueron de 38 días, de los cuales se contaron con 30 días de secado y 8 días distribuidos en el armado y desarmado de la estructura una vez culminado cada experimento.

7.1 Instrumentos y materiales Utilizados

Dentro de los instrumentos que se utilizaron estuvieron: Termómetros digitales para medir la temperatura dentro del secador y compararla con la del ambiente, Balanzas de reloj, para pesar la cantidad de libras de café que entran y las que salen del secador, un Hidrómetro empleado para medir la humedad dentro y fuera del secador, un Multigrain para medir la humedad del grano en pergamino, un medidor de diferencial de presión (Anemómetro), para medir la velocidad el aire a la entrada y a la salida del secador.

Dentro de los materiales que se utilizaron estuvieron: hojas de toma de datos utilizadas para registrar las variables a medir en el secador solar y el testigo (Ver **Anexos 2, 3, 4,5**), las tarimas en las cuales se colocó el café y el plástico negro. Esto sirvió para secar y hacer comparaciones de secado.

7.2 Diseño del secador parabólico de tipo invernadero

Estructura: basado en el diseño tradicional de los invernaderos, modificado para ser desarmable y que sea fácil de armar, con una longitud de 6 m, ancho de 3 m y altura de 2 m y $\frac{1}{2}$; estaba compuesto por tres arcos metálicos unidos entre sí, por

un espaciador , una puerta de entrada y a los lados en la parte inferior dos entradas de aire y una salida de aire en la parte superior de atrás , además estaba recubierto por un plástico transparente y en la parte inferior cubierto con plástico negro.

7.2.1 Materiales para la Construcción del secador

Materiales

- I. Tubos de hierro galvanizado
- II. Plástico negro calibre 100
- III. Plástico transparente calibre 600
- IV. Cajillas de madera con malla.

Medidas y Dimensiones

Los arcos miden 6 metros de largo y tienen un grueso de 1-1/4 de pulgada y un diámetro de 1 pulgada.

Para los conectores centrales de los arcos: se utilizaron 6 metros de tubo galvanizado con un grosor de 7/8 de pulgada.

Los tubos conectores laterales (Inferiores) miden 6 metros de largo y con un grosor de 1-1/4 de pulgada.

En la cruz de la parte trasera: se utilizaron 5 metros de varillas de hierro y el grosor del tubo era de 1/2 pulgada.

La puerta mide: 28 pulgadas de ancho y 70 pulgadas de alto y un grosor de 1 pulgada.

La ventana inferior frontal mide: 10 pulgadas de ancho x 60 pulgadas de largo y un grosor de 1 pulgada.

La ventana lateral mide: 27 pulgadas de ancho x 36 pulgadas de largo. La ventana se elevó del suelo 27 pulgadas y se utilizaron varillas de hierro de un grosor de ½ pulgada.

Diámetro de la chimenea: 4-1/2 pulgada y se utilizó tubo PVC.

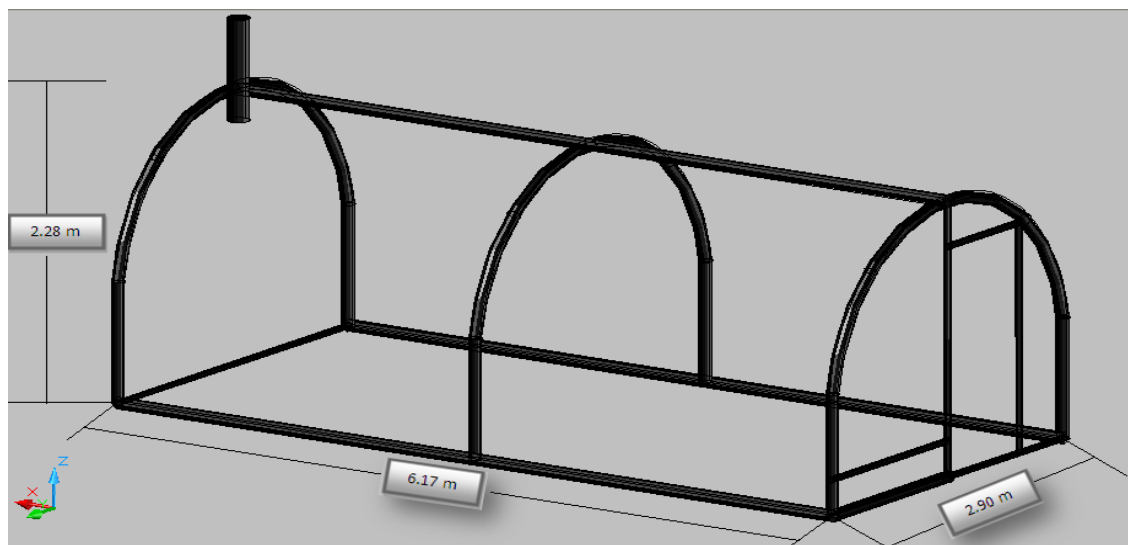
Cajillas de madera con malla: medida internamente 50 pulgadas de largo y 35 pulgadas de ancho. Elevada a una altura de 1 metro.

7.2.2 Área del Secador

El área de la parte interna; era de 3x6 metros (18 metros cuadrados) para el piso se utilizó 22 yardas de plástico negro.

El área de la cubierta o forro; era de 6x6 metros (36 m²) para el cual se utilizaron 43 yardas de plástico transparente para cubrir dicha área y se necesitaron 11 yardas, para forrar la parte de enfrente y de atrás. En total se utilizaron 54 yardas para cubrir todo el secador con plástico transparente (45.21m²). Es recomendable comprar un 10 % más del total del material a utilizar.

Figura N° 14: Esquema del Secador Solar



7.3 Actividades

A nivel de finca se validó una tecnología que permitió orear rápidamente el café, disminuyendo su humedad de 52 % al 35 % en el Beneficio Húmedo. En la siguiente etapa en Beneficio Seco la reducción fue del 30 % al 12 % de humedad.

7.3.1 Experimentos en Estelí

En la fase inicial de la investigación se realizó el estudio de costos de los materiales que se utilizaron para el diseño del secador y con fondos del FUNICA, se elaboraron 2 estructuras de hierro galvanizado (desarmables) en forma de túneles, cubiertos con plástico translúcido y piso de plástico negro, el modelo se basó en el diseño de un invernadero con modificaciones adaptadas, para oreado de café. Las especificaciones técnicas del secador fueron facilitadas por la UNI-Norte y se tomaron en cuenta, para el dimensionamiento de la estructura.

Los ensayos para el armado del Secador Solar, fueron realizados en la UNI-Norte los días 12 y 13 de diciembre del año 2007, estos consistieron en ensamblar el plástico traslúcido, forrar la estructura y de esta manera se determinó la cantidad de plástico y materiales (alambre, silicón, sellador, plástico) que se utilizaron para el armado. Se midió la temperatura del secador en comparación con el ambiente. Los ensayos, permitieron realizar arreglos que fortalecieron la metodología de trabajo. Una vez concluidas las pruebas, el secador era desarmado.

7.3.2 Experimentos en el Beneficio Húmedo

Los experimentos se realizaron en tres fincas modelos recomendadas por la cooperativa Tepeyac. Estas están ubicadas en la comunidad la Sotana en las afueras del municipio de San Rafael del Norte. A alturas diferentes la una de la otra, las validaciones se hicieron en ciclos de cosecha diferentes.

Ciclo de cosecha 2007-2008

En la etapa 1 de la investigación se validó el secador solar de café pergamino en dos fincas de la comunidad de San Rafael del Norte: la finca Rio Grande a una altura de 1175 Msnm, propiedad de Henry Úbeda y la finca “Los dos hermanos”, a una altura de 1115 Msnm, propiedad de José Enrique Gutiérrez. En un periodo transcurrido del 19 de Dic., al 23 Dic. y del 04 de Dic. al 06 de Enero del 2008.

Procedimientos: El Oreado del grano de café se realizó en el Secador Solar y se comparó su relación con el secado tradicional (el testigo), para determinar, cual método era más efectivo. La temperatura y H.R (humedad relativa), se midió cada hora, entre 8 am y 4 pm, Se hizo una toma de muestra por tratamiento (secador y testigo) y se pesó al inicio del experimento y al concluir este, para determinar cuál de las dos muestras perdió más humedad.

Tratamientos: En el oreado con el secador solar, se utilizaron zarandas simples y dobles. La muestra testigo, fue oreada de forma tradicional, con piso de plástico negro y zarandas simples con cedazo. El oreado se realizó con café mojado de más del 52% de humedad para ser llevado al 35 % de humedad. “se disminuía un 17 % del peso”. El grano se movía cada 1/2 hora al mismo tiempo que se extraía los residuos de café que la despulpadora no pudo despulpar bien.

Ciclo de cosecha 2008-2009

En la etapa tres de la investigación, se validó el secador solar en la finca el Socorro a una altura 1154 Msnm, Propiedad de Reinaldo Pineda, el café utilizado fue caturra. El tiempo transcurrido de todo el experimento fue de 16 días de los cuales se distribuyen de la siguiente manera: del 20 al 26 de diciembre del 2008, del 3 al 8 de enero del 2009 y del 12 al 16 de enero del 2009. En esta etapa el tiempo de validación, fue más prolongado que en las anteriores, debido a que hubo inconvenientes con el secado. (Ver **pág. 57**)

Procedimientos: se realizó el mismo procedimiento que en la validación anterior solo que a diferencia del ciclo anterior, el secador “se llenó completamente de café” y se determinó la capacidad de secado del mismo a su máxima capacidad. Se recolectaron muestras de secado de 2 lotes diferentes de café, por cada lote se tomó una muestra representativa de 2.28 a 2.73lbs. Estas corresponden a dos muestras de café en pergamino secado en el secador solar y dos secadas en el testigo, para mandar a ser catadas en el beneficio seco de Atlantic en Ocotál.

Tratamientos: En el oreado con estructura de tubo, se utilizaron zarandas simples y dobles. La muestra testigo fue secada de forma tradicional, con zarandas simples con cedazo. El secado se realizó con café mojado de más del 52% de humedad para ser llevado al 35 % de humedad. Es decir disminuir un 17 % del peso. El grano se movía cada 1/2 hora al mismo tiempo que se extraía los residuos de café que la despulpadora no pudo despulpar bien.

7.3.3 Experimentos en el Beneficio Seco 2008

En la etapa 2 de la investigación, los días 11, 12, 13, 14 y 15, de febrero del 2008, se validó el secador solar de café en el beneficio seco de PRODECOOP en Palacagüina, con el objetivo de conocer el potencial de secado del prototipo y la capacidad del mismo en esta zona relativamente baja, a una altura de 560 msnm. En la validación se realizaron entrevistas y se utilizó como testigo plástico negro y en suelo de cemento.

Procedimientos: se midió temperatura y H.R (humedad relativa) cada hora entre 8 am y 4 pm, se hizo una toma de muestra por tratamiento (secador y testigo) y se pesó al inicio del experimento y al concluir este, para determinar cuál de las dos muestras perdió más humedad.

Tratamientos: se usaron zarandas simples y de doble piso de cedazo. La muestra testigo fue el secado en patio con piso de cemento, piso de plástico negro y zarandas simples. Se bajó el nivel de humedad del café del 30 % al 12 %. Es decir disminuir el 18 % de su peso. El grano se movió cada 1/2 hora para realizar un secado uniforme.

7.4 Rentabilidad económica

Se realizó un análisis económico de costos e ingresos extras, por la nueva tecnología. Esto implicó calcular el costo de inversión al secar los granos de café de forma artesanal y el costo de utilizar el secador solar.

Se estimó la vida útil de la estructura en 6 años y los costos de inversión en tarimas y materiales (plástico y alambres) con un menor tiempo de duración (2 años). En el análisis se depreció anualmente la estructura, tarimas, materiales plásticos y alambres, para determinar la inversión que se realiza por ciclo de cosecha.

Se determinó de cuánto es la capacidad de secado del productor en la finca evaluada y la cantidad de café que seca, esto durante el ciclo de cosecha. De esta forma se realizaron comparaciones entre el tiempo de secado de forma tradicional y el realizado en el secador.

Para conocer la rentabilidad económica, se hizo una relación entre el tiempo de secado que realiza el productor y el realizado por el secador solar. Así se conoció la diferencia en días de secado y el ahorro de la mano de obra, por la nueva tecnología. Con esta información se determinó qué cantidad de café en pergamino el secador solar puede secar durante todo el ciclo de cosecha que por lo general es de 2 meses.

7.5 Propiedades organolépticas

En el análisis organoléptico, las muestras se mandaron a catar en el beneficio Atlantic ubicado en la ciudad de Ocotlán, cada muestra tenía un peso entre 4 lbs. a 6 lbs. El método que se utilizó para realizar la recolección de las muestras fue el siguiente: Se tomaron muestras de granos de café, secados en el secador solar y la misma cantidad también se tomó del testigo. Estas se colocaron en bolsas plásticas transparentes a las cuales se les realizaron hoyos, para evitar que el grano de café se humedeciera y se llenase de moho.

Para analizar las muestras de café en pergamino, el porcentaje de humedad apropiado es del 12 %, de lo contrario, si el % de humedad es elevado, las pruebas se hacen difícil de realizar, por lo que el grano de café debe ser trillado.

A cada muestra se le colocó un número o código determinado el cual reflejó el lugar, nombre de la finca, nombre del productor, variedad de café, tipo de muestra, peso de la muestra, altura, fecha de recolección y por último el código de la muestra (este aparecerá en concordancia con la hoja de toma de datos utilizada en el experimento, (ver pag. 45 y anexos11). Este segundo código nos decía la fecha de inicio y de culminación del secado, el peso inicial de la cantidad de café que se secó y el peso final al concluir el experimento.

7.6 El análisis y procesamiento de la información

Se realizó estadística descriptiva, gráficos y estadística inferencial de modelos de regresión lineal y no lineal. Los programas computarizados que se utilizaron para procesar los datos fueron los siguientes:

Para elaborar el documento escrito se utilizó el Word 2007, para el análisis y procesamiento de datos se realizó en los siguientes programas: Excel 2007, InfoStat y SPSS. Estos dos últimos son programas estadísticos.

VIII. Etapas del proceso de investigación

En este capítulo se muestra el desarrollo del proceso de investigación, las validaciones del secador se hicieron en tres etapas diferentes; por lo que la producción de café es por temporada y durante los ciclos de cosecha 2007-2008 y 2008-2009, se aprovecharon los meses de diciembre a febrero, para poder realizar esas actividades. El secador fue validado en 3 fincas de San Rafael a diferentes alturas, esto se realizó en dos etapas y en años diferentes y se realizó una validación en el beneficio seco en Palacagüina (PRODECOOP). A continuación se describe el ciclo cronológico de las validaciones en las que se muestra la información más detallada en cuanto a metodología, logística e instrumentos que se utilizaron en cada validación:

❖ Etapa 1 del proyecto: **Validación del Secador Solar de Café en San Rafael del Norte (Ciclo de cosecha 2007-2008)**

En esta etapa lo que se pretendió hacer fue determinar de qué forma se utilizaría esta tecnología en la finca, como sería colocada, que cantidad de café secaría, otro aspecto fue comprobar que tan efectiva era la metodología de secado utilizada y conocer la opinión del productor acerca de esta forma de secado, en otras palabras, si estaría dispuesto a utilizar esta tecnología.



Figura Nº:15, Finca Rio Grande y la ubicación del secador.

Los instrumentos que se ocuparon para la toma de datos y manipulación del producto fueron los siguientes: 2 Termómetro digital, 1 Medidor de temperatura y H.R ,1 Medidor de H.R (humedad relativa) ,1 Pesa quintalera ,1Pesa de Reloj ,1 Balde Plástico.

Fincas en que se realizó el experimento:

Los Dos Hermanos, Altura: 1115 Msnm, Coordenadas: **N**(13°17'51.6"),**W**(086°05'45.2"), Proprietario: José Enrique Gutiérrez.

Finca Rio grande; Altura: 1175 Msnm, Coordenadas: **N**(13°16'38.4"),**W**(086°05'15.1"), Propietario: Henry Úbeda, Variedad de Café: Caturra.

El grupo de trabajo se distribuyó en dos fincas diferentes de la comunidad la sotana en San Rafael del Norte cada finca con diferente altura (1115 y 1175 Msnm) para comprobar cómo afectaba el secado según la altura y que temperatura máxima y mínima puede alcanzar el secador en esa región. Así como también determinar qué tan eficiente es el secador solar con respecto al secado tradicional que realizan los productores de esa región (en plástico negro y en tarimas).

En un periodo de 4 días en cada finca, se procedió a trabajar con un lote de muestras de café en pergamino recién lavado (del 19 al 23 de diciembre del 2007). El segundo viaje se realizó el 07 de enero del 2008 y se trabajó en una de las fincas (Rio Grande), se tomó la misma cantidad de muestra para el secador y el testigo. Se realizó el experimento del 8 al 10 del mismo mes. En resumen en las dos fincas se trabajó con tres lotes diferentes de café en todo el experimento.

El secador solar se colocó en dirección contraria al viento, la estructura se probó con una abertura en la parte superior del lado de atrás del secador y se

levantaron dos ventanas situadas en la parte inferior del lado frontal del secador para que existiera circulación de aire. (Ver **Figura N°:28**)

La fase del experimento consistió en lo siguiente: se tomaron 20 lbs., de café para cada muestra, luego se colocaron muestras de la misma cantidad una en el secador y otra en el testigo. En esta etapa del experimento no se llenó por completo de café el secador.



Figura N°:16, Tarima de dos pisos utilizada adentro del Secador solar de Café.



Figura N°:17, Tarima utilizada como testigo (al aire libre) para la realización del Secado.

En el secador se procedió a realizar un proceso de secado, que consistió en colocar varias muestras de la misma cantidad en cada tarima, en el primero y segundo piso de la tarima (Ver **figura N°:16**), de esta forma se midió la temperatura, H.R y peso de la muestra. Esto se hizo cada hora y se intercambiaban de lugar. La muestra de la tarima del segundo piso se colocaba en la tarima del primer piso y la muestra de la tarima del primer piso se colocaba en el segundo piso, una vez transcurrido otra hora, la muestra de la tarima del primer piso se pasaba al plástico negro.

Todo esto en comparación con un testigo que era otra tarima colocada afuera del Secador. Esta tenía la misma cantidad de muestra que había adentro de la estructura, se hizo con el objetivo de determinar cuál método de secado era más efectivo. (ver **FiguraNº:17 y 24**).

La fase del experimento no finalizó cuando el productor dejó de secar, sino que se continuó secando las muestras. Se observó la hora en que el productor finalizó el secado, esto se hizo para determinar el tiempo real en que el productor seca su grano y así hacer una relación entre el peso en esa hora de culminación de secado establecida por el productor y el peso de la muestra secada en el Secador Solar.

En esta etapa se realizó una entrevista al propietario de la Finca Rio Grande el Sr. Henry Úbeda y se realizaron las siguientes preguntas: ¿Qué opinaba acerca de esta tecnología?, ¿Estaría dispuesto a trabajar con ella?, ¿Alguna sugerencia que proponga para incorporársela al secador?

❖ Etapa2 del proyecto: **Validación del Secador Solar de Café en Palacagüina (Febrero del 2008)**

En esta etapa del experimento lo que se pretendió hacer fue comprobar que temperaturas máximas el secador podría generar bajo las condiciones apropiadas de radiación solar y otro aspecto fue bajar el nivel de humedad del café del 30 % al 12 %. Es decir, disminuir el 18 %.

El proceso de secado realizado en el beneficio seco fue más severo que el efectuado en el beneficiado húmedo, por lo que el café en pergamino en esta

etapa pasa a ser café en oro y su % de humedad debe de ser del 12 % para que la máquina lo pueda trillar sin ningún problema.

Es importante mencionar que reducir este nivel de humedad es mucho más difícil (Ver **Anexo N°:1**) y se requiere de una mayor concentración de energía térmica que en los experimentos realizados en el beneficio húmedo (se reduce del 55% al 35%) por lo que el % de humedad del grano en el beneficio seco se encuentra más concentrado (se reduce del 30% al 12%), además que las condiciones climáticas de secado fueron diferentes, por lo que se realizó a una menor altura y en uno de los meses más soleados del año como lo es febrero.



Figura N°:18, Interior del secador y aparatos utilizados en el experimento.



Figura N°:19- Testigo en plástico negro (Café en pergamino), toma de muestras.

En los días 11, 12, 13,14 y 15, de febrero, el secador solar se validò en Palacagüina en el beneficio seco de PRODECOOP a una altura de 650 msnm. Los tipos de secado que utiliza la cooperativa son: con la ayuda de tendales y plástico negro.

En el desarrollo del experimento se utilizaron hojas de toma de datos (ver **Anexo N°:2**), para medir temperatura, H.R, peso de la muestra y tiempo en horas. Los

instrumentos que se ocuparon para la toma de datos y manipulación del producto fueron los siguientes: 2 Termómetros digitales, 1 Medidor de temperatura y H.R ,1 Medidor de H.R (humedad relativa), 1 Pesa quintalera, 1Pesa de Reloj, 1 Balde plástico.

Se colocaron muestras de 25 a 50 lbs en cada tarima, para realizar el experimento. Las variables a medir, T (temperatura) y H.R (humedad relativa), estas se tomaban cada hora y se pesaba la muestra cada dos horas y se medía siempre T. y H.R.

El testigo que se utilizó fue el secado en plástico negro (Ver **Figura N°:19**), se colocaban muestras de la misma cantidad con respecto a las que había en el secador y se pesaba la muestra al inicio y al final de cada jornada de trabajo. Las muestras se movían cada media hora para que el secado fuera uniforme, tanto en el Secador Solar como en el testigo. La toma de datos se realizaba de 8 de la mañana hasta las 4 de la tarde. Se tomaron cuatro muestras de 10 lbs., cada una (dos del Secador y dos del testigo) para realizar pruebas de catación. Estas se colocaron en bolsas plásticas al instante en que se terminó de secar el grano de café.

❖ Etapa **3** del proyecto: **Validación del Secador Solar de Café en San Rafael del Norte (Ciclo de cosecha 2008-2009)**

En esta etapa de la investigación, la metodología utilizada fue diferente que en el ciclo de cosecha 2007-2008, debido a que el tipo de tratamiento que se le dio a la muestra secada en el secador solar fue utilizando la misma tarima (Ver **Figura N°:23**), para realizar el secado y no realizando un proceso de secado escalonado, como el realizado en la validación anterior; donde la muestra de secado inicia en

la tarima del primer piso, luego esta se baja a la tarima del segundo piso y finaliza el secado en plástico negro.(Ver **Figura N°:16**)

Lo que se pretendió hacer en este experimento fue realizar la recolección de las muestras de café pergamino oreado en el secador y el testigo (secado tradicional) para mandarlas a catación, comprobar si las modificaciones realizadas al secador funcionarían correctamente y reducir el % de humedad del grano de café del 52 % al 35 % de su peso.

Finca en que se realizó el experimento: FINCA EL SOCORRO, Altura 1150 - 1154 Msnm, Coordenadas geográficas: **N** (13°19.181'), **W** (086°04.352'), Propietario; Reinaldo Pineda, Variedad de Café: Caturra. Los equipos utilizados fueron los siguientes: 1 Multigrain (Medidor de humedad del grano en pergamino), 1 Medidor de Diferencial de presión, 2 Termómetros Digitales, 1 Medidor de T y H.R, 1 Medidor de H.R, 2 Pesas quintaleras, 1Pesa de Reloj, 1 Balde Plástico.

En esta fase del proyecto se eligió una finca diferente a las antes visitadas en los experimentos anteriores por su altura y ubicación, también al secador solar de café se le hicieron algunas modificaciones, las cuales consistieron en agregarle ventanas extras a cada



Figura N°:20, Finca El Socorro y la ubicación del secador.

lado, para manipular mejor los granos de café, se colocó una chimenea más firme (Ver **Figura N°:21**) y en la parte frontal del lado inferior del Secador solo se dejó una compuerta. (Ver **Figura N°:27 y 29**)

El tiempo transcurrido de la validación fue de 16 días de los cuales se distribuyen de la siguiente manera: del 20 al 26 de diciembre del 2008, del 3 al 8 de enero del 2009 y del 12 al 16 de enero del 2009. Las variables a medir fueron las siguientes: Temperatura, humedad relativa, peso, velocidad del viento. Para este último utilizamos un medidor de diferencial de presión. La metodología del experimento fue la siguiente: se comenzó a tomar datos a las 8 o 9 de la mañana. Esto dependía de las condiciones climáticas en que amanecía. Al iniciar el experimento se esperó una hora para que el secador acumulara calor y luego se abrió la compuerta para que permitiera la entrada de aire y se comenzó a colocar las muestras dentro del secador y del testigo.

Se llenó el secador a su máxima capacidad para así determinar qué cantidad de granos de café alcanzaban en cada cajilla y conocer de cuanto era la capacidad de secado. La metodología consistió en lo siguiente: se pesaba una muestra de 55 lbs., adentro del secador y otra muestra de la misma cantidad afuera del secador, como testigo, se utilizó el secado en tarima (Ver **Figura N°: 22**).



Figura N°:21, Parte trasera del secador y la ubicación de la chimenea.



Figura N°:22, Testigo en tarimas (Café en Pergamino)

El procedimiento utilizado consistió en darle un seguimiento a ambas muestra. La muestra que fue colocada en el secador fue pesada, luego esta operación se repetía cada dos horas, se midió T, H.R, peso, velocidad del aire, cada hora.

La muestra testigo fue pesada al inicio y al final, también se midieron las mismas variables que en el secador cada hora y se hacía una relación entre el % de peso al finalizar la toma de datos de ambos tratamientos, para determinar cuál de los dos métodos de secado era más eficiente.



Figura N°:23, Tarimas del interior del secador (café en pergamino), toma de muestras.

Se tomaron cuatro muestras de 4lbs. cada una (dos del secador y dos del testigo) para ser catadas en el laboratorio del benéfico seco de Atlantic en la ciudad de Ocotlán y de esta manera determinar la calidad del café secado en el secador y la del secado tradicional. A cada muestra se le colocó un código para identificarla con mayor facilidad en la hoja de toma de datos y a esta muestra se la asignó un número.

El código consiste en lo siguiente por ej; **23125548**, este es el código que aparecía en la hoja de toma de datos y el **NÚMERO7** es el código que se le coloca a la bolsa de la muestra para mandarla a catar al beneficio y al final de la prueba de catación, apareció en la hoja de resultados el número de la bolsa de la muestra (ver **Anexo N°:11**) y así se tenía los datos completos de esa muestra con ese número.

Los dos primeros dígitos significaban la fecha en que se comenzó a secar este café y los otros dos son el peso inicial y el peso final. Esto se podía leer así: fecha **23/12 de 55 lbs., bajo a 48 lbs.** y el número **7** de la bolsa o de los resultados de la hoja de catación decía lo siguiente:

Nombre de la finca: (El Socorro)

Nombre del productor: (Reynaldo Pineda)

Variedad de café: (Caturra)

Tipo de muestra: (Secador Solar)

Altura: (1150-1154 Msnm)

Fecha de retiro de la muestra: (24/12/08)

Código de la hoja de toma de datos: (23125548)

IX. Resultados parciales de cada etapa de la investigación

En base a las actividades realizadas en cada etapa de la validación del secador se obtuvieron resultados valiosos que permitieron realizarle modificaciones al mismo para que funcionara mejor. A continuación se detallan los resultados de cada etapa:

Resultados de la etapa **1** del proyecto: **Validación del Secador Solar de Café en San Rafael del Norte, durante los Ciclos de cosecha 2007-2008**

En esta etapa del experimento se logró la reducción de humedad del grano de café en pergamino del 52% al 35%. Esta experiencia permitió ampliar y mejorar la metodología de secado planteada en el protocolo de investigación, también se formularon y evaluaron ideas para mejorar la estructura.

Estas mejoras consistieron en modificar la cara trasera del secador, cerrando la abertura de la parte superior y se colocó una chimenea; de esta forma el secador alcanzó temperaturas mayores que con la “abertura que se tenía en la parte posterior” y se determinó que no era necesario que las dos ventanas de la parte inferior de la cara frontal del mismo estuvieran abiertas y que bastaba con una abierta para que este realizara bien el secado en comparación con el ambiente (Ver **Figura Nº:27**).



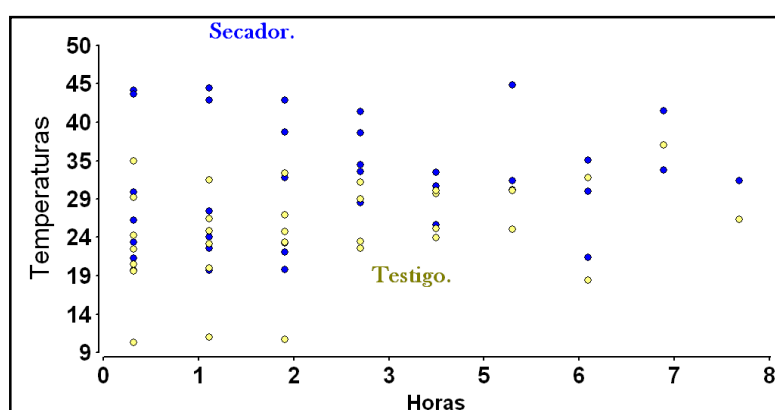
Figura Nº:24- Secador solar y el testigo



Figura Nº:25- El retiro de granos fallados o dañados por la despulpadora.

Se registraron temperaturas máximas de 49 °C y temperatura promedio de 33 °C y en el testigo temperaturas máximas de 36 °C y temperatura promedio de 25 °C dando como resultado una diferencia de 12 °C y una temperatura promedio de 8 °C de diferencia en el secador con respecto al ambiente.

San Rafael del Norte (2007-2008)
GráficoNº:1, Diferencias de Temperatura



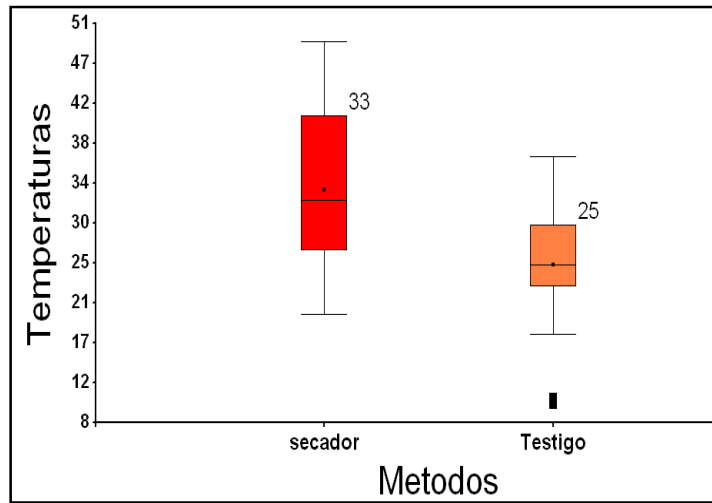
En el gráfico N°:1 de dispersión de puntos, se puede apreciar que adentro del secador existía una mayor temperatura que en relaciona al ambiente en donde se encuentra el testigo. En la siguiente tabla se puede apreciar las diferencias que existe entre las temperaturas de ambos tratamientos de secado.

Tabla N°: 1

<u>Método de secado</u>	<u>variable</u>	<u>n</u>	<u>Media</u>	<u>D. E.</u>	<u>Min</u>	<u>Máx.</u>
SECADOR	Temperatura	50	33.11	8.37	19.70	49.00
TESTIGO	Temperatura	49	25.01	5.68	10.00	36.60

San Rafael del Norte (2007-2008)

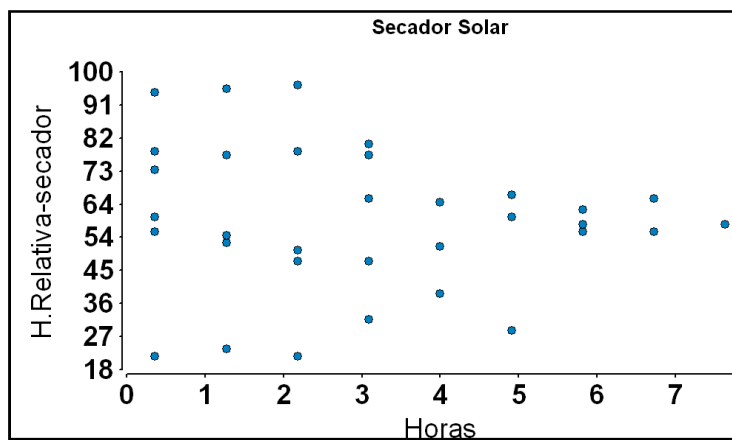
Gráfico N°: 2, Variaciones de Temperatura



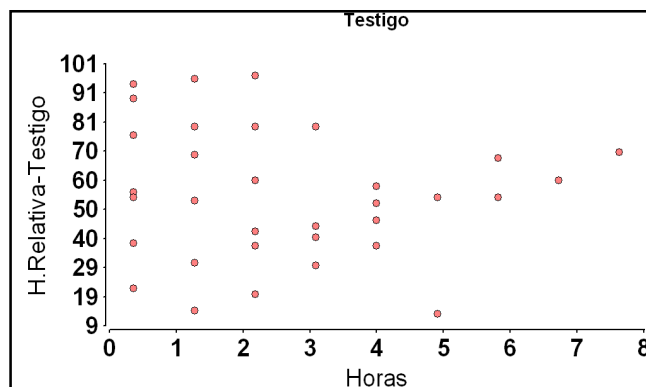
En este “gráfico de caja de cuartiles”, se muestran las variaciones de temperatura que se registraron en el secador y en el testigo. En el secador las temperaturas oscilaba o fluctuaban entre un rango de 25°C a 33°C y de 33°C a 40°C tomando como referencia 33°C que es la mediana. En el testigo la temperatura oscilaba entre un rango de 21°C a 25°C y de 25°C a 30°C tomando como referencia 25°C que es la mediana.

San Rafael del Norte (2007-2008)

Gráfico N°: 3, Humedad Relativa



San Rafael del Norte (2007-2008)
Gráfico N°:4, Humedad relativa

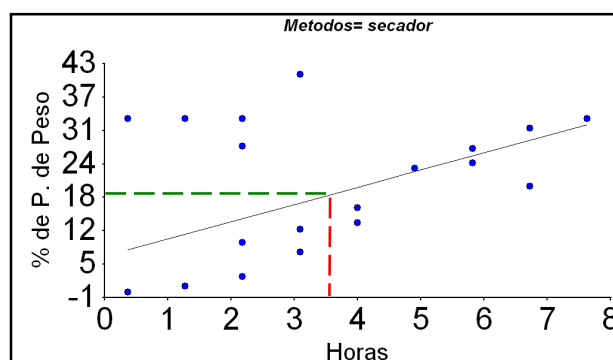


En los gráficos 3 y 4 se observa la humedad relativa de los dos modelos de secado. En este caso no hubo mucha variación de humedad relativa adentro del secador con respecto al testigo, pero si se observa en la siguiente tabla notaran que en el secador hubo poca H.R que en el ambiente (Testigo).

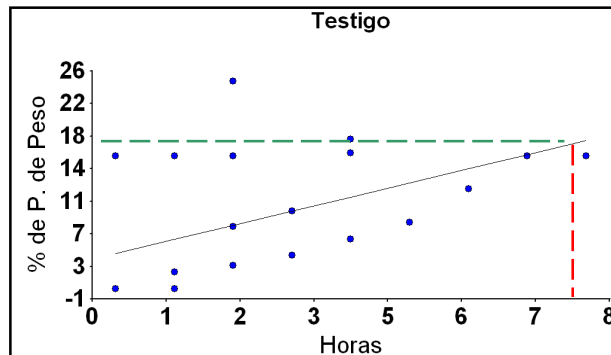
Tabla N°: 2

<u>Métodos</u>	<u>variable</u>	<u>n</u>	<u>Media</u>	<u>D. E.</u>	<u>Min</u>	<u>Máx.</u>
SECADOR	H. Relativa	50	54.16	21.24	14.00	96.00
TESTIGO	H. Relativa	49	49.53	23.60	11.00	97.00

San Rafael del Norte (2007-2008)
Gráfico N°: 5, % pérdida de PESO



San Rafael del Norte (2007-2008)
Gráfico N°: 6, % pérdida de PESO



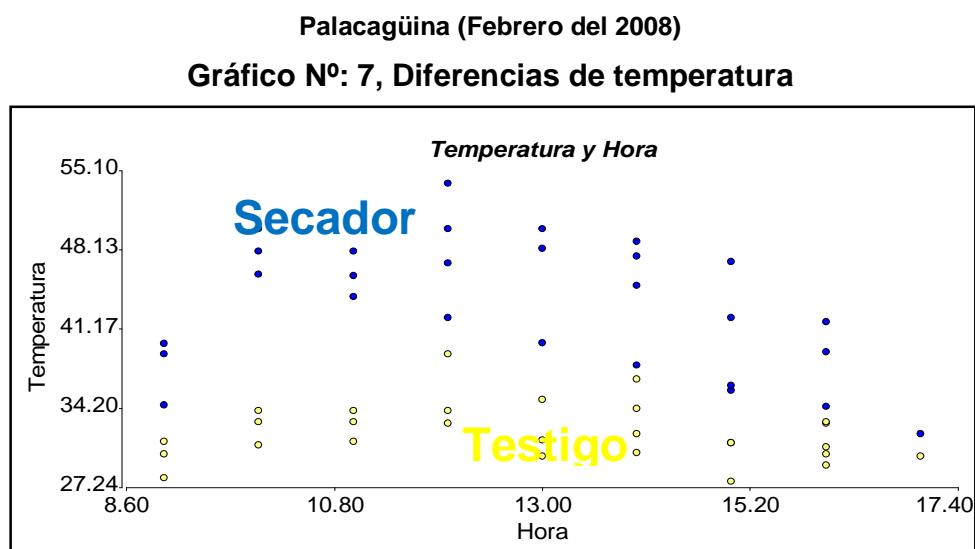
En los “gráficos de regresión lineal” 5 y 6, se observa que el secador solar redujo en un 50% el tiempo de secado con respecto al testigo. Por lo que en 3.5 horas el secador extrae el 18 % de humedad del grano mientras que el testigo lo hizo en un tiempo de 7.5 horas un poco más que el doble del tiempo que le toma al secador solar.

El propietario de la finca “Rio Grande” el Sr. Henry Úbeda comento que “estaba dispuesto a utilizar esta tecnología, el problema está en que si una persona permanece mucho tiempo en el secador se puede deshidratar, pero me interesa conocer aún más acerca de ella”. Según lo discutido con el señor Henry se pensó en colocarle ventanas al secador y medir el tiempo que se tarda una persona en remover y quitar las impurezas del grano adentro del secador.

🚦 Resultados de la etapa **2** del experimento: **Validación del Secador Solar de Café en Palacagüina (Febrero del 2008)**

La experiencia se hizo con café en pergamino oreado, que se llevó a café seco, con un 12% de humedad. Se lograron obtener temperaturas máximas de hasta 54°C. Incluso con las primeras muestras de café que se secaron se observaron grietas en el pergamino de los granos, esto por el secado acelerado a alta

temperatura, este defecto se controló cerrando las ventanas de circulación de aire. Aquí se logró un gradiente térmico diferencial promedio entre el secador y el testigo de 11 y 33°C a favor del secador en relación con el testigo.



En este gráfico se puede observar que las temperaturas del secador se encuentran por encima de las del testigo, con una diferencia de las temperaturas máximas de 15 °C con respecto al testigo, y en las temperaturas mínimas de 5°C. Las temperaturas máximas se alcanzaron a las 12 del mediodía, por lo que el sol a esa hora se encuentra en la parte central e irradia con mayor intensidad. En la siguiente tabla se pueden apreciar mejor las temperaturas.

Tabla N°: 3

<u>Tratamiento</u>	<u>Variable</u>	<u>n</u>	<u>Media</u>	<u>D.E.</u>	<u>Mín.</u>	<u>Máx.</u>
Secador	Temperatura	28	43.39	5.76	32.00	54.00
Testigo	Temperatura	28	32.06	2.48	27.80	39.00

Resultados de la etapa **3** del proyecto: **Validación del Secador Solar de Café en San Rafael del Norte durante el ciclo de cosecha 2008-2009**

En esta etapa se determinó, que si el secador no era colocado en posición favorable con el viento (a contra corriente), este no secaba a su máxima eficiencia, también se demostró que cada tarima almacena 55 lb de café pergamino húmedo, con una profundidad de capa de 3 cm, esta cantidad permitía una mejor circulación de aire entre los granos y mejora la velocidad de secado.

La validación de las modificaciones del secador (ventanas a los lados y utilización solamente de una compuerta de entrada de aire), resultó favorable para evitar entrar al secador y poder mover el grano desde afuera y así solucionando el problema de deshidratación del trabajador. (Ver **Figura N°:26**)



Figura N°:26, Ventana lateral del secador



Figura N°:27, Compuerta de entrada de aire

Es necesario mencionar que con las modificaciones no se alteró la remisión de humedad del secador solar en comparación con el ambiente. Así de esta forma se obtuvieron los siguientes datos:

San Rafael del Norte (2008-2009)

Gráfico N°: 8, Diferencias de temperatura

En este gráfico de “dispersión” se muestran las diferencias de temperatura entre el secador y testigo. Con un Máximo de 19 °C a favor del secador con respecto al testigo.

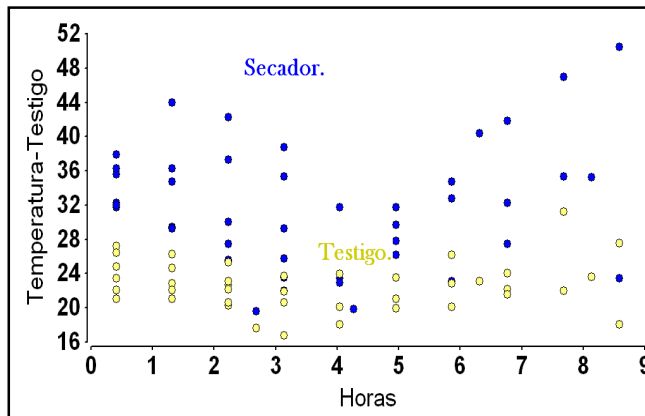
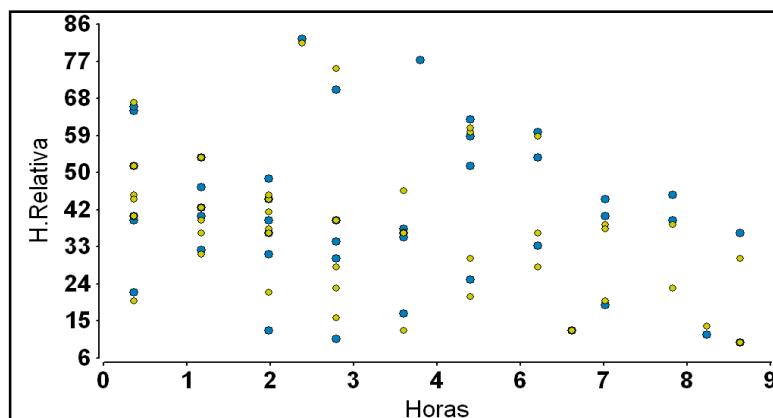


Tabla N°: 4

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Secador	Temperatura	75	31.56	7.87	18.70	50.00
Testigo	Temperatura	75	21.90	2.91	16.70	31.00

San Rafael del Norte (2008-2009)

Gráfico N°: 9, Variaciones de Humedad Relativa



En el gráfico de dispersión N°: 9, se mide la humedad relativa de los dos tratamientos de secado. En este caso no hubo mucha variación de humedad relativa adentro del secador con respecto al testigo.

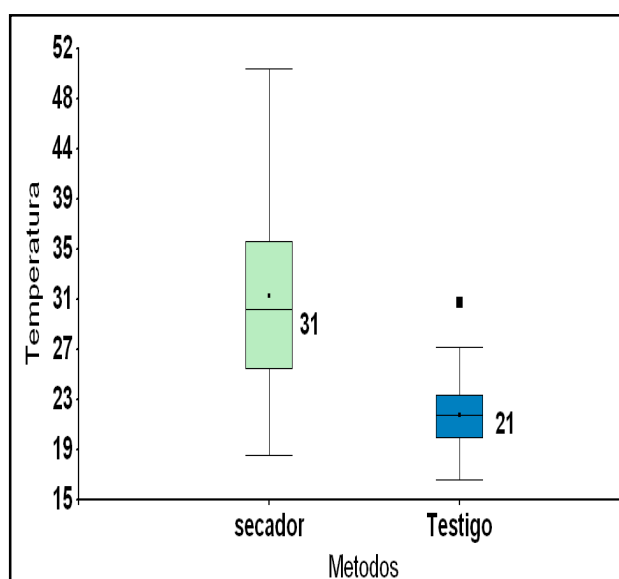
Tabla N°: 5

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Secador	H.Relativa	75	42.47	20.00	10.00	82.00
Testigo	H.Relativa	75	40.91	20.06	10.00	81.00

San Rafael del Norte (2008-2009)

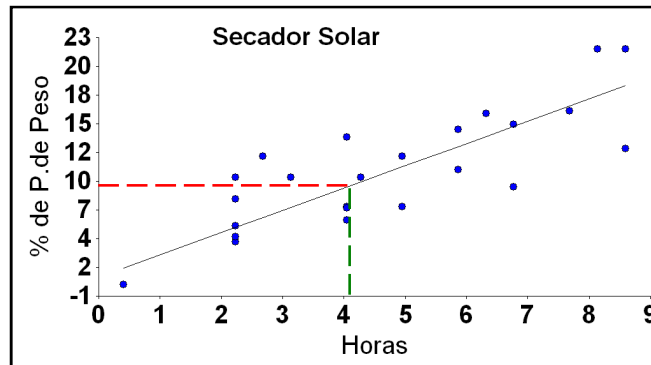
Gráfico N°: 10 Variaciones de Temperatura

En este “gráfico de caja de cuartiles”, se muestran las variaciones de Temperatura que se registraron en el secador y en el testigo. En el secador las temperaturas oscilaba o fluctuaban entre un rango de 25°C a 31°C y de 31°C a 35°C tomando como referencia 31°C que es la mediana. En el testigo la temperatura oscilaba entre un rango de 18°C a 21°C y de 21°C a 27°C tomando como referencia 21°C que es la mediana.



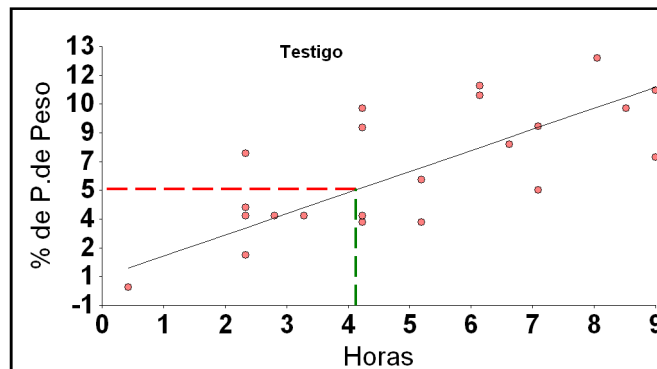
San Rafael del Norte (2008-2009)

Gráfico N°: 11, % Pérdida de PESO



San Rafael del Norte (2008-2009)

Gráfico N°: 12, % Pérdida de PESO



En los gráficos 11 y 12 se muestran los resultados de los análisis de regresión lineal. En ellos se observa que el Secador Solar reduce en un 50% el tiempo de secado en comparación con el testigo. Por lo que en 4 horas el secador extrae el 10 % de humedad del grano, mientras que el testigo en 4 horas extrae el 5%. Esto demostró que al testigo le llevaría el doble de tiempo para poder extraer el mismo % de humedad que el secador.

Circulación del aire: La velocidad del aire a la salida del secador fue mayor en promedio que a la velocidad del aire de la entrada de 1.21 m/s (velocidad de salida 3.5 m/s y la velocidad a la entrada 2.29 m/s respectivamente). Se encontró una

correlación alta entre la velocidad del aire en la entrada y a la salida del secador de $r_{\text{Pearson}} = 0.84$, $p=0.000$, lo que nos dice que si el aire entra rápido también sale rápido, pero a mayor velocidad, por efecto de la convección térmica. Pero se encontró una correlación positiva muy baja, pero significativa, entre la velocidad del aire cerca de la salida, por la chimenea y la temperatura dentro del secador de $r_{\text{Pearson}} = 0.23$, $p=0.043$.

Las variaciones de aire que se registraron a la entrada y a la salida del secador fueron las siguientes:

Tabla N°: 6

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Secador	V. Entrada Aire	75	2.29	0.71	0.00	3.70
Secador	V. Salida Aire	75	3.50	1.10	1.30	5.60

Análisis de un problema presentado y su solución

En los días 4 y 5 de enero del 2009, se llevó a cabo la validación del secador solar en la finca el Socorro, propiedad de Reynaldo Pineda. En esos días se procedió a secar el café en pergamino y se colocaron muestras de 56 lbs, en el secador y el testigo. Se empezó a tomar datos a las 11:30(04/01/09), el despulpado se realizó con agua por eso el tiempo de fermentación fue más prolongado (16 horas), el café fue lavado por el productor a las 10:30 (si se despulpa en seco el tiempo de fermentación, por lo general dilata 12 horas). Ese día amaneció soleado.

La fase experimental consistió en lo siguiente se tomaban datos cada hora y se pesaban las muestras cada 2 horas para determinar qué % de peso había perdido,

según los datos el testigo iba secando más rápido que el secador , se percató que las cajillas del testigo eran más grandes y por ende circulaba mejor el aire , mientras que en el secador las cajillas son un poco más pequeñas , la profundidad de granos de café era de 2 cm en cada cajilla (secador y testigo) , en base a esto se hizo lo siguiente, se realizó una distribución equitativa de los granos en cada tarima con respecto al testigo y se obtuvo como resultado un mismo peso al final del día (Testigo y Secador). En esos días no hubo mucho viento y eso fue uno de los factores que afectó el secado en el secador solar, debido a que alcanzaba altas temperaturas pero la humedad no era extraída del grano con facilidad.

En base a este problema se formularon las siguientes preguntas ¿Porque el secador no funcionó correctamente?, ¿Qué pudo provocar que no funcionara bien?

Realizando el análisis de lo que sucedió se llegó a la siguiente conclusión: El lugar en que se colocó el secador no era el apropiado, por lo que existía un lapso de tiempo en que este recibía sombra, también que no se había colocado correctamente en contra del viento y además que no se percató que unos niños movían el grano del testigo y por eso también se secó más rápido. Así que existen muchos factores que pueden influir en el secado del café, pero si el secador se coloca correctamente, este funciona mucho mejor que el secado al ambiente.

Para descartar los resultados negativos de la validación antes mencionada se volvió a validar el secador en la misma finca (del 12/01/09 al 14/01/09), esta vez se colocó en un lugar diferente, se movió a otro más distante, y sin sombra en todo el día por lo que la vez anterior existía un lapso de tiempo en que este recibía sombra por algunos árboles y también se colocó a favor del viento. Realizando la toma de datos se observó que el secador funcionaba correctamente y se observó la misma tendencia en la temperatura y la pérdida de humedad que en las validaciones anteriores, en el que este reducía el tiempo de secado a la mitad.

Los resultados obtenidos con esta validación fueron exitosos. Esta última validación permitió determinar las posibles causas del porque el secador no funcionó correctamente en la prueba anterior.

X. Resultados Generales

Comparación de las dos validaciones realizadas en finca

El secador solar se validó en el 2007-2008 en San Rafael del Norte a diferentes alturas (1115 Msnm y 1175 Msnm y en Palacagüina en el benéfico seco de PRODECOOP a una altura de 650 Msnm. En el 2008-2009 se evaluó de nuevo a una altura de 1154 Msnm, sólo que a este se le hicieron modificaciones, tales como: chimenea, ventanas laterales y se utilizó una sola compuerta. (Ver figura N°29)



Figura N°:28-Validación 2007-2008



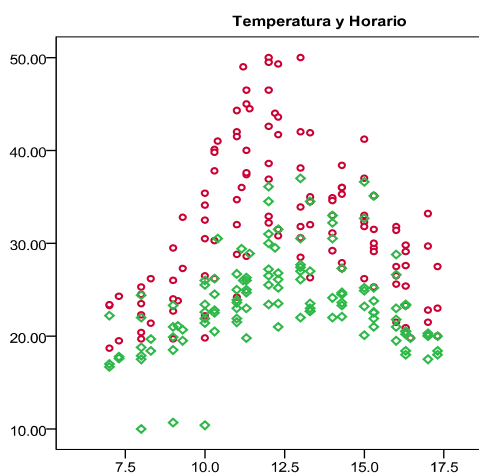
Figura N°:29-Validación 2008-2009

El funcionamiento y su capacidad de secado: El secador solar por gradiente de temperatura generaba una circulación de aire. Este entraba frío por la parte inferior de la cara frontal, se calentaba en el secador y salía por la chimenea de la parte posterior superior por “convección natural” en la que el movimiento del aire ocurre

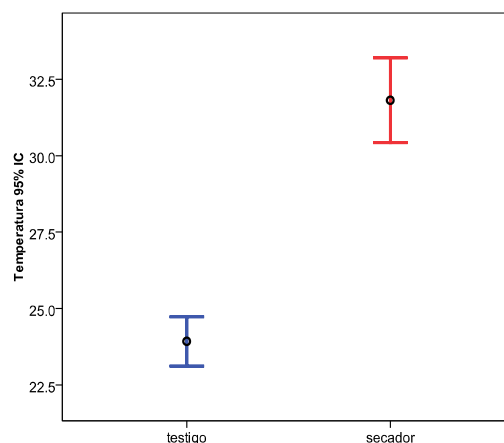
debido a diferencias de densidad producidas durante el calentamiento y enfriamiento del mismo. Al entrar el aire más caliente en contacto con el grano húmedo adsorbía la humedad y éste actuaba como secador. En la validación se comprobó lo que decía la teoría en el marco teórico y en la introducción, en cuanto a la circulación del aire adentro del secador (pag. Nº 9 y 25)

El secador tuvo en general entre 5 y 7 horas efectivas de oreado al día, de 9 am a 4 pm, se usaron 6 cajillas con una capacidad cada una de 55 libras (24.97 kg) de café pergamino húmedo. El secador demostró tener una capacidad de secado de 3.5 qq (159 Kg).

**Temperatura y horas de secado
Secador y Testigo
Gráfico Nº:13**



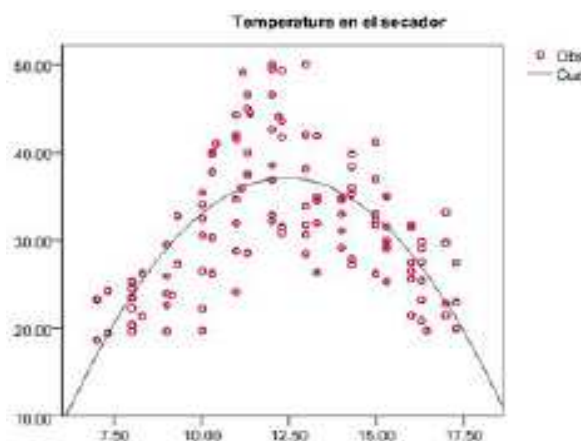
**Intervalo de confianza
Temperatura del secador y el ambiente
Gráfico Nº:14**



En el secador se encontró una comportamiento no lineal, del tipo cuadrática, entre las horas del día, (de 7 am a 5 pm), y la temperatura alcanzada. Las mayores temperaturas se lograron a la 1 pm. (Ver los Gráficos de Temperatura Nº 15 y 16). En el ciclo 2008-2009 se observó que si se orientaba mal la entrada de aire del secador éste no secaba mejor que el ambiente. Se corrigió orientando la entrada de aire, colocando la puerta en la dirección predominante del viento.

Temperatura del secador

Gráfico N°:15



Temperatura del Testigo

Gráfico N°:16

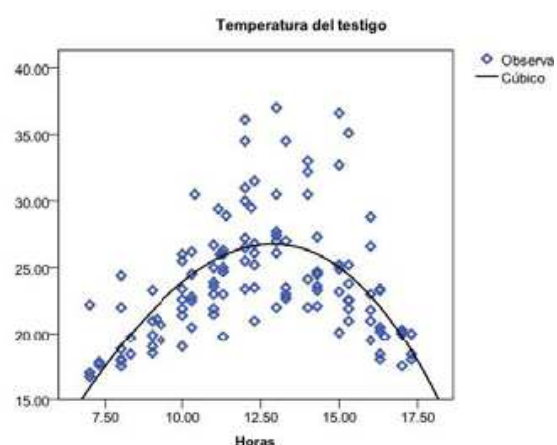


Tabla 7. Estadísticos descriptivos de la Temperatura en San Rafael

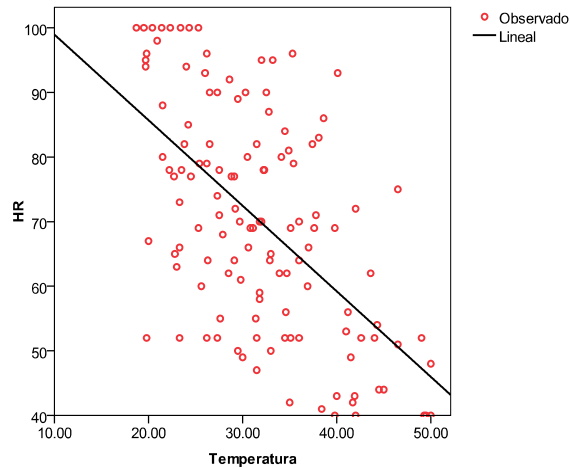
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ.
Secador	125	18.70	50.0	31.8	7.8
Testigo	124	16.70	37.0	23.9	4.5
N válido	124				

Temperaturas: Se lograron obtener gradientes de temperatura hasta de 24.5°C en comparación con la temperatura del ambiente, pero de promedio en las tres validaciones se tuvo en el secador 8°C más que en el ambiente.

Temperatura y Humedad Relativa: Como era de esperar se encontró dentro del secador una correlación negativa y significativa entre la temperatura (la HR, de $r_{\text{Pearson}} = -0.645$, $p=0.000$), lo que indica que al calentarse el aire, disminuía la HR mejorando así la acción de secado del aire sobre los granos húmedos.

Regresión Lineal entre Temperatura y HR dentro del secador

Gráfico N°:17



Pérdida de Peso

Hubo una alta correlación significativa de $r_{\text{Pearson}} = 0.83$, $p=0.000$, entre la variable pérdida de peso del café pergamino húmedo y las horas del mismo en el secador, la regresión lineal entra estas dos variables quedó de la siguiente forma $\hat{y} = 0.964 + 2.81 x$.

En el secador, en 5 horas, un día efectivo de oreado, se logró reducir de promedio un 15% la humedad del grano húmedo, pasando a café oreado, listo para ser llevado al beneficiado seco (con aproximadamente un 40% de humedad del grano en pergamino). (Ver **Anexo N°: 1**)

A temperatura ambiente esta reducción de humedad se logró casi a las 10 horas de secado, dos días efectivos de secado y a veces tres, ya que generalmente por problemas de lluvias o rocío en el mejor de los casos se comienza a secar a las 9-

10 am y se termina a las 2-3 de la tarde. Se debe considerar que el secador no tiene problemas si llueve. (Ver los gráficos N°: 18 y 19)

Gráfico N°:18

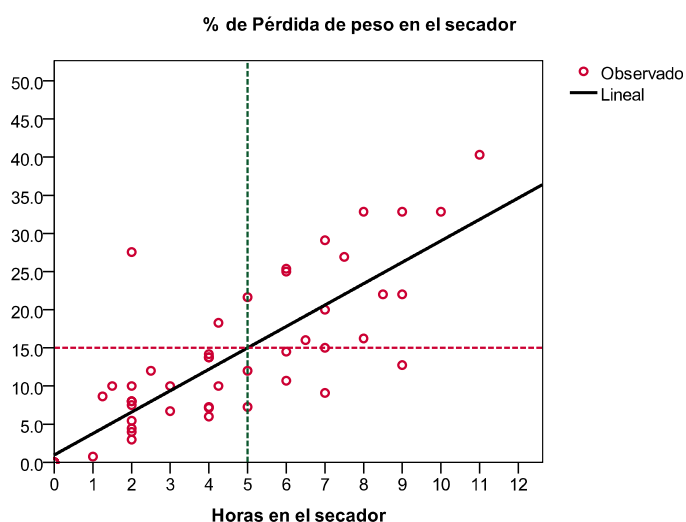
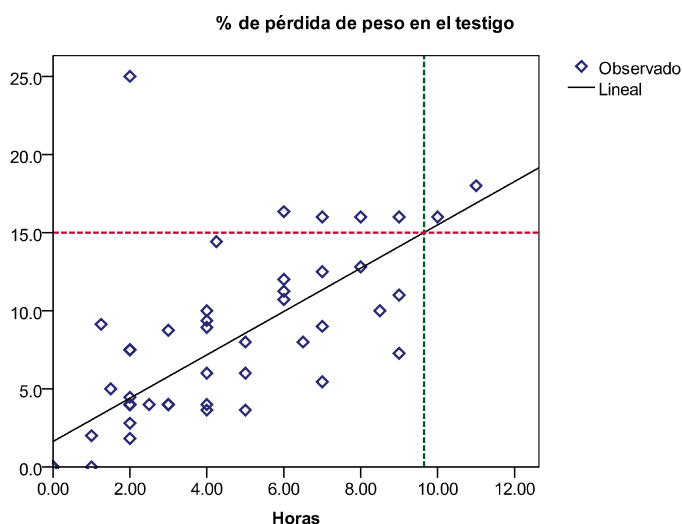


Gráfico N°:19



La velocidad de secado en el secador propuesto es dos veces mayor que el tradicional o sea al ambiente. Esta relación es de 2:1 según los gráficos y los cálculos en la siguiente formula.

Eficiencia en la velocidad de Remoción de Humedad

Datos

Area de secado: 6 m², Días de secado: Secador (5 h) y Testigo (10 h), Capacidad de 1 cajilla = 24.97 kg (café en pergamino), 6 (cajillas) * 24.97 kg de café mojado = 150 kg, (150 kg * 15% de humedad extraída para llevar a café oreado = 22.5 kilos de agua evaporada).

La velocidad de remoción de humedad o velocidad de secado, si se mantiene la misma masa, en dos tiempos diferentes: 5 h y 10 H respectivamente como se muestra en los gráficos N° 18 y 19, se tienen dos velocidades de secado:

V.R = (Kilos de agua evaporada) / (horas de secado)

La del secado tradicional es de $22.5/10 = 2.25$ kg/h de salida de humedad.

La del secador solar evaluado es de $22.5/5 = 4.5$ kg/h, o sea el doble de la velocidad del tradicional.

Calidad de Catación

Se hizo cuatro pruebas de catación de muestras extraídas del secador y secadas en cajillas al ambiente y dieron resultados equivalentes de calidad de catación, en promedio 79 y 78 puntos respectivamente (Ver pruebas en **Anexos N°:11**). Las muestras se recolectaron de 2 lotes diferentes de café a las cuales se les dio el mismo tratamiento de secado.

Un dato curioso, fue que una de las muestras recolectadas del secador, obtuvo un mayor puntaje en la taza, que la muestra analizada del testigo, (ver **Anexo 14 y 15**) cabe señalar que ambas muestras pertenecían al mismo lote. Pero en el segundo lote las muestras del secador salió contaminada con moho y la del testigo era astringente ambas obtuvieron la misma puntuación y con un alto % de exportación. En el "lote N°:2", según los datos y realizando un consenso con el grupo de trabajo se determinó que era de inferior calidad que el anterior. (Ver **Anexo N°:12 y 13**)

En las hojas de detalle de muestras, se observó que las muestras del secador solar tenían un % de humedad menor que las muestras del testigo. Esto

demuestra que el “secador solar” logra extraer mayor cantidad de humedad que el testigo, en un mismo periodo de tiempo.

Análisis Económico

Costos, la estructura del secador cuesta aproximadamente 330 U\$, con una vida útil de al menos 6 años, el plástico, tarimas y alambre para armar se estima en 126.56 U\$, material que puede durar dos años de uso. La inversión anual es 55 U\$ por amortización de la estructura metálica y 63.28 U\$ por material plástico, tarimas y alambre, para un total de inversión de 118.28 U\$ por ciclo de cosecha. (Ver **Anexo N° 7 y 8**)



Figura N°30, Ensayo de armado del secador en la UNI-NORTE.



Figura N°31, Esquema y armado de la estructura en finca del productor.

Ahorros

- a) En 30 días efectivos el secador solar puede secar unos 105 qq (4.77 Ton) de café pergamino, reduciéndose así el tiempo de oreo en un 50%, se ahorra de esta manera un 50% de la mano de obra en remover el grano mientras se este se seca, aproximadamente 30 días hombre, unos 90 U\$ por ciclo de cosecha. (Ver tablas en **Anexos N°: 9 y 10**)

- b) Hay un aspecto delicado de medir, que es el efecto económico por el café con hongos o sobre fermentado, lo que da producto de segunda calidad. Sin embargo hay estimaciones que aproximadamente el 15 % del café que se cosecha, por efectos de sobre fermentación, mohos, café verde, etc. se clasifica como café de segunda, con un valor del 70% por debajo de café de primera, de exportación.

Se pierden así, por mal manejo de la humedad del grano unos 36 U\$ por qq de café de primera que pasa a segunda calidad. Si estimamos conservadoramente, que de los 105 qq que se pueden secar en una cosecha con el secador solar, 5 qq (4.8 %) no pasan de primera a segunda calidad, producto de la mejora de "oreado"(esta operación permite que el café se puede trasladar en un menor tiempo a los centros de acopio para "prevenir" su contaminación por hongos y moho por efecto de humedad), se puede obtener un ingreso extra por mantener calidad de unos 180 U\$ por ciclo.

XI. Discusión de Resultados

Los secadores de lecho fijo, tambor rotativo y flujo cruzado que se muestran en el marco teórico funcionan con una fuente externa de energía (electricidad y combustibles fósiles (madera), tienen un alto costo económico, además presenta una estructura más compleja, mientras el secador validado funciona con energía solar, su estructura es sencilla y puede ser construida con materiales de menor costo, disponibles localmente.

Por otra parte si lo comparamos con el secador solar multipropósito este tiene un costo alto ya que tiene una cubierta de vidrio, y el secador validado en la parte superior es colocado un plástico transparentes el cual tiene menor costo que el vidrio también posee ventiladores que elevan su costo y por lo tanto lo hacen menos accesible para los pequeños productores. El secador validado se coloca

siempre en contra del viento, mientras los de tambor rotativo se orientan de norte a sur. Además una ventaja del secador validado es que no utiliza energía eléctrica.

(Ver tabla de resumen en **Anexo N°:6**)

En lo referido al secado el secador solar validado alcanza temperaturas máximas de 60°C en el beneficio seco de la cooperativa PRODECOP en el municipio de Palacagüina y en San Rafael alcanza 54°C, dependiendo de las condiciones climatológicas. En comparación con otros secadores que funcionan con combustible fósil, como el secador de lecho fijo que alcanza temperaturas de secado de 70 °C, se nota que existe un pequeño margen de diferencia entre ambos secadores, solo que al utilizar la energía solar como una alternativa de preservar nuestro medio ambiente y no combustibles fósiles, inclina la balanza a la hora de decidir que tecnología puede ser utilizada en una área protegida o no protegida.

Por otra parte según los resultados obtenidos se comprobó la hipótesis planteada ya que el secador redujo los tiempos de secado en fincas a la mitad en comparación con el secado convencional y sin afectar las características organolépticas de los granos de café en pergamino.

Cabe señalar el cumplimiento de lo expuesto en el marco teórico respecto a los aspectos a considerar en el secador como lo es la transferencia de energía y el comportamiento de la humedad en el secador solar, además que la velocidad de secado depende muchos factores entre ellos: la radiación solar, la velocidad de aire de entrada y de salida, la humedad del grano y la cantidad de café colocado en cada tarima etc.

XII. Conclusiones

Se demostró que el secador solar en fincas situadas a más de 1,000 msnm logró un incremento promedio de temperatura de 8°C respecto al ambiente, lo que permite reducir el tiempo de oreado del café pergamino húmedo en un 50%, por lo que es más eficiente en remoción de humedad. Puesto que el secador es el doble de veloz que el secado al ambiente (ver pag.63). Para que el secador funcione bien la entrada de aire y la puerta del secador, deben estar orientadas en la dirección contraria al viento predominante.

Según el análisis de grupo las modificaciones realizadas al secador, en el “segundo año de la evaluación” (Etapa C), no funcionaron como se lo esperaba, debido a que no mejoró la eficiencia de secado en relación con la validación del año anterior. Pero es aceptable ya que en ese año el secador solar no fue llenado de café a su máxima capacidad (Etapa A). Otros factores fueron que las condiciones eran distintas; un año diferente, una finca intermedia en elevación (Msnm) y un clima variado. Aunque en comparación con el secado tradicional se observó la misma tendencia. (Reducción a la mitad en tiempo de secado). En otras palabras las modificaciones funcionaron.

Sólo con “utilizar el Secador Solar” en relación con el secado tradicional el productor se ahorra un 63.14% de inversión por ciclo de cosecha y con este ahorro se logra pagar casi el costo total de construcción de la estructura (ver tabla en **Anexo Nº: 7 y 10**). Sin embargo debido a la mejora de la calidad del café se estima conservadoramente que se pueden lograr unos 150 U\$ de ganancia por ciclo de cosecha, por evitar que el volumen de café de primera pase a segunda calidad, producto de un mal oreado. En las pruebas de catación el secador solar no altera la calidad del café, la mantiene hasta llegar a los centros de acopio.

Ventajas del Secador solar en comparación con el secado tradicional

El secador reduce en un 50% los tiempos de secado y se obtiene un ahorro económico durante todo el ciclo de cosecha.

En el secado, el grano no está expuesto al aire libre y esto impide una “contaminación directa de fuentes externa” debido a la forma que presenta el secador.



Figura N°: 32, Perspectiva del secador



Figura N°:33, Lado derecho del secador

El secador “acumula el calor durante la noche” permitiendo que el grano no se humedezca por la H.R del ambiente (roció de la mañana).

Existe una “mejor circulación del aire” que se propaga por las aberturas existentes en el secador además por ser un flujo a contra corriente (ubicación del secador en contra del viento) y su aislamiento térmico (el interior del secador), permiten una mayor velocidad de salida del aire y de arrastre de la humedad del grano.

El secador “Mejora la calidad de secado” por lo que el grano no está expuesto al aire libre y evita posibles contaminaciones del medio (eses de aves, polvo, insectos, etc.)Se conserva la calidad natural del grano.



Figura N°:34, café expuesto a contaminación



Figura N°:35, café expuesto a lluvias

El secador es “fácil de instalar” por lo que su estructura no es tan compleja como la de otros secadores utilizados en la industria del secado de granos.

Es “fácil de trasladar”, debido a que es desarmable y su dimensionamiento le permite ser transportado en un vehículo (una camioneta)



Figura N°: 36, Armazón del secador



Figura N°:37, El forrado inicial

El secador “no perjudica el ambiente a corto y mediano plazo” por lo que su estructura es de hierro galvanizado. Este material es muy resistente además puede ser reciclado.

En temporada que no se cosecha café pueden utilizarse para secar maíz, frijoles, leña o frutas.

La estructura puede construirse de madera, bambú, P.V.C, para abaratar sus costos de fabricación otra ventaja es la facilidad de obtener los materiales de construcción en cualquier parte del país.

Precaución

Una persona al permanecer demasiado tiempo adentro del secador puede deshidratarse. No exceder los 20 minutos en un día soleado.

El secador funciona en dependencia de las condiciones climatológicas y lugar de instalación.

XIII. Recomendaciones

a) Uso de la estructura

El secador solar para funcionar correctamente debe ser colocado en un lugar idóneo (que este no tenga sombra de árboles)

Este debe ser colocado en contra del viento para que exista una mayor circulación de aire.

Para iniciar el secado deben ser cerradas las compuertas del secador y dejar así por una hora, para que este acumule calor y se cree un ambiente caliente.

El grano de café debe moverse cada ½ hora para que este seque uniformemente.

No exceder la capacidad de las tarimas de secado que es por lo general de 50 a 55 lbs. Esta cantidad permite una profundidad de 3 cm de granos de café pergamino, la cual es la recomendada en el secado tradicional.

Al entrar al secador no exceder los 20 minutos en un día soleado, se recomienda abrir todas las compuertas del secador antes de entrar. No apto para personas hipertensas. (Personas que padecen de la presión)

b) Continuidad de la investigación

Se debe validar al menos con 10 productores la tecnología, y esta debe ser manejada por los propios productores luego de una breve capacitación sobre el uso de la misma. Este compromiso debe ser asumido por las asociaciones cafetaleras para impulsar el desarrollo y fomento de esta tecnología. Esta idea puede ser retomada por futuros estudiantes egresados de la universidad, como su proyecto de tesis.

Lo que falta lograr es que el productor se apropie de ella, es ahí donde estos estudiantes contribuirían en la parte de fomento y sensibilización. Se dice que el conocimiento humano está basado en el aprendizaje escalonado, por lo que se retoma el conocimiento previo de los resultados de una investigación y se le da continuidad a esta, para alcanzar objetivos relacionados con el mismo tema; es en esa parte que se necesita trabajar en conjunto con las asociaciones cafetaleras para que sean las precursoras de su mismo desarrollo.

Como un argumento de investigación se sugiere que se puede realizar pruebas con 10 productores que utilicen esta tecnología y 10 que utilicen el secado tradicional o también se puede hacer con dos productores que tengan la misma capacidad de producción de café. A estos se les puede dar un seguimiento durante todo el ciclo de cosecha para hacer una comparación entre ambas técnicas a profundidad en lo referido a la calidad del café y costos de inversión en secado.

Se sugiere también como tema de investigación la realización de un estudio a fondo en cuanto la “Eficiencia térmica de secado del secador solar”, relacionado las variables (Temperaturas (bulbo húmedo (b.h) y bulbo seco (b.s), Humedad Relativa, Velocidad del viento, % de humedad del grano, calor específico (c.p) de los materiales de construcción del secador) y de esta forma realizar balances de materia y energía para conocer el potencial del secador solar si se hace más grande y conocer su rentabilidad económica. La pregunta es ¿si es recomendable aumentar su tamaño y que variaciones podría existir entre las variables antes mencionadas, con respecto a los volúmenes de secado, en relación al tamaño de la estructura? Que se quiere decir con esto, que si se aumenta el tamaño del secador, como se comportarían las variables antes mencionadas, al aumentar también los volúmenes de secado. ¿La rentabilidad económica seguirá siendo la misma?

XIV. Bibliografía

- A.Restrepo. J. Burbano. (2005). Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos. Scientia et Technica No 27 , 127 -132.
- ANACAFE. (2005). Manual de Beneficiado Húmedo del Café. Guatemala.

Abdala J., Fonseca S., Pantoja J. y Gen A., 2003, SECADO DE CAFÉ PERGAMINO EN SECADORES SOLARES MULTIPROPÓSITO Y DE TAMBOR ROTATORIO, recuperado el 25 de noviembre del 2010 de

<http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/2104/1652>

- Barrios O, A. O. (1998). En ANACAFE, Beneficiado Húmedo y su Control de Calidad. In Manual de Caficultura (págs. 229 -259). Ciudad de Guatemala. Guatemala.
- Cafetaleros, F. (2004). Post cosecha y Beneficio. La remoción del mucílago o baba del café. Colombia. Recuperado el 20 de 10 de 2009, de <http://www.cafedecolombia.com/caficultura/remocion.html>
- CDA. (2002). Cafés Especiales. Boletín # 04. Honduras.
- (CENI-CAFÉ, 2006). Secador solar de túneles para café en pergamino, recuperado el 25 de noviembre del 2010 de <http://www.cafedecolombia.com/documents/labopaznortsantander/Avance-Tecnico-353-Secador-Solar-de-tunel-para-cafe-pergamino.pdf>
- Delgado M.,Leiva G.,Perdigón Z., Bériz L. (s.f.). Familia de secadores solares. Recuperado el 10 de octubre de 2009 <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia30/HTML/articulo02.htm>
- Estrada, L. D. (2005). Efectos de la altitud, sombra, produccion y fertilizacion sobre la calidad del cafe (Coffea arabica L. var. Caturra) poducido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de NICARAGUA. Turrialba, Costa Rica
- FAO,2006, publicado julio del 2006 ,Departamento de cultura y protección al consumidor de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0607sp1.htm>
- IICA. (2003). Cadena de Comercialización del Café. Managua, Nicaragua.

- Maocho, F. (2009). Secadores. Obtenido de <http://www.energiasrenovables.gov.ar/images/secador-solar>
- (MARCALA, 2010). DENOMINACIÓN DE ORIGEN CAFÉ MARCALA, Secadoras solares, recuperado el 09 de mayo del 2011 de <http://www.cafemarcala.com/userfiles/file/documento%20secadora%20solar.pdf>
- Martínez, D., & Álvarez, J. (2006). APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA. Recuperado el 10 de Octubre de 2009, de <http://www.cafedecolombia.com/documents/labopaznortsantander/Avance-Tecnico-353-Secador-Solar-de-tunel-para-cafe-pergamino.pdf>
- Mayer Falk R., Falk Solar. (2004). Secado solar técnico de productos agrícolas en el trópico y altiplano de Bolivia. Recueprado el 08 del 11 del 2010 de http://www.unslp.edu.bo/ali_5tas2.htm
- OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE, Santiago, Chile 1993, Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural, recuperado el 07 de noviembre del 2010 de <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S0b.htmhttp://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S0c.htm#Secadores%20de%20flujos%20cruzados>
- Oliveros C.; Ramírez, C. Sanz, J.; Peñuela A. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Paulo Cesar &Alfonso Junior, Delgada capa de secado natural de las ecuaciones de café y café pergamino, Universidad Federal, Depto. EngenhariaAgricola, de Vicoso, 36571-000 Vicoso MG, Brazi, 2001 ASAE Annual International Meeting Sponsoredby ASAE ,de <http://www.asae.frymulti.com>

- Palacios, D. C. (2008). Secadoras solares tipo domo para café pergamino La experiencia en Hueatenango Guatemala. Recuperado el 12 de Octubre de 2009, de <http://www.cafeycaffe.org>.
- Prensa libre, 23 de marzo del 2011, Suben ingresos de Nicaragua por café, según un informe divulgado por (CETREX) centro de tramites de exportacion en su pagina web, recuperado el 27 de marzo del 2011, de http://www.prensalibre.com/economia/Suben-ingresos-Nicaragua-cafe_0_449355066.html
- Restrepo A. & Burbano J., 2005, Scientia et Technica XI, DISPONIBILIDAD TÉRMICA SOLAR Y SU APLICACIÓN EN EL SECADO DE GRANOS, recuperado el 25 de noviembre del 2010 de <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/151220127-132.pdf>
- Santana, G. G. (2002). Evaluación del potencial de las energías pasivas para el secado Coquimatlán
- T, L. (1999). En Fundamentos para la catación de cafe (págs. 21 - 22).
- TAQUIRI, O. M. (2008). Experiencias del uso de secadores solares en el PERÚ
- Wheeler, M. (2001). The speciality coffee market. In P, Baker. Eds. Coffee Futures: A source book of some critical issues confronting the coffee industry. Chinchina, Colombia.

XV. ANEXOS

Anexo Nº:1, Etapas del secado

¿Qué es Secado?

Secado es el método universal de condicionar los granos por medio del retiro del agua asociada a él, hasta un nivel en que los granos se encuentren en equilibrio con el aire ambiente.

El secado es utilizado para inhibir la germinación y reducir el contenido de humedad hasta un nivel que evite el crecimiento de hongos y las reacciones de deterioración. (MARCALA, 2010)

Cambios de aspecto del grano a través del secamiento



Etapas del proceso de secado



La pérdida de peso en porcentaje, en virtud del secado se puede calcular de la siguiente forma:

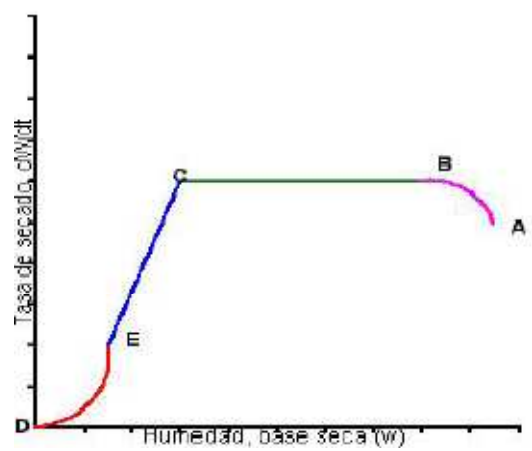


En las siguientes etapas de secado el contenido de humedad se refleja de la siguiente forma:



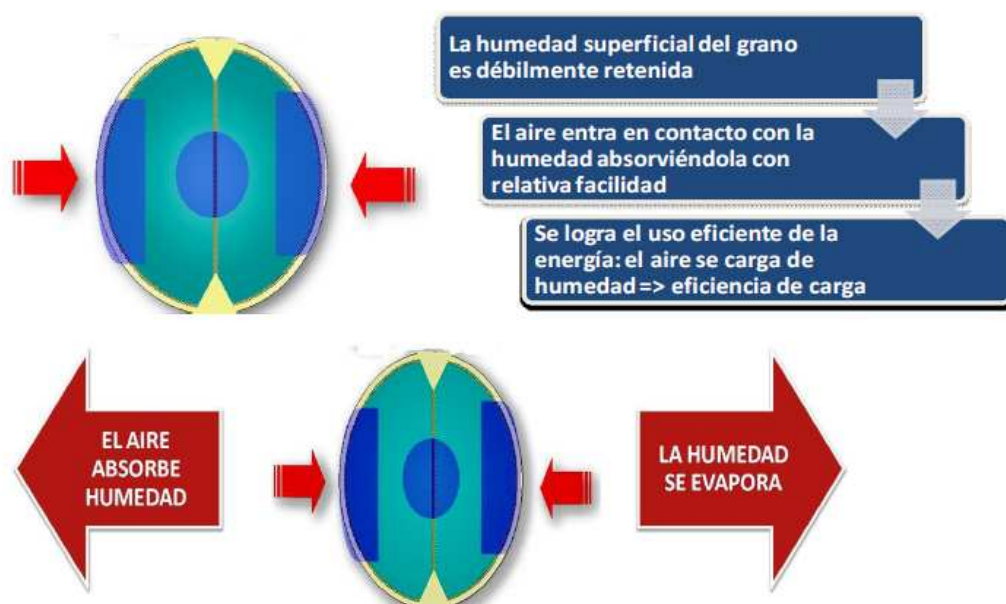
Al inicio **(AB)** el producto experimenta un pequeño aumento de temperatura. Luego la tasa de remoción de agua se vuelve constante **(BC)**, Cuando se alcanza el contenido de humedad crítico **(C)** la velocidad de secado es decreciente **(CE)**.

• La velocidad de secado decreciente es controlada por la difusión de humedad hacia la superficie. En el punto **D** se alcanza el contenido de humedad de equilibrio y el producto deja de perder humedad. (MARCALA, 2010)



Secado a Velocidad Constante

En la etapa de **secado a velocidad constante**, la humedad está depositada en la superficie del grano.



Limite seguro de temperatura

Para mantener la calidad del café que está en proceso de secamiento y mantener que no hayan pérdidas en su sabor; se debe entender claramente que no es suficiente con establecer solamente un límite de temperatura. Además de la temperatura, **el tiempo durante el cual se mantiene el café a una temperatura dada** es lo que resulta importante para el mantenimiento de la calidad. (MARCALA, 2010)

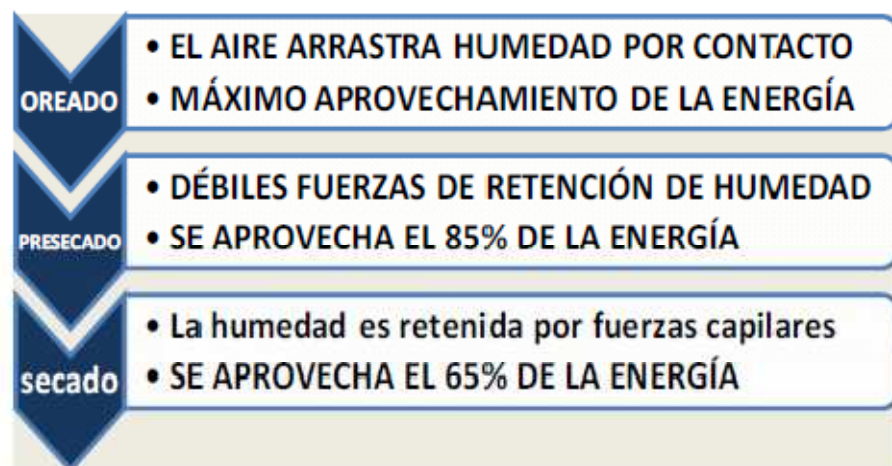
Es muy difícil, por no decir imposible especificar niveles seguros de temperatura del café o aún combinaciones seguras de tiempo y temperatura; como una guía aproximada podemos establecer los siguientes rangos de temperatura que es apto para el café:

40°C	<ul style="list-style-type: none"> • PERÍODO MÁXIMO • 1 o 2 DÍAS
50°C	<ul style="list-style-type: none"> • DURANTE ALGUNAS HORAS • 4 a 10 HORAS
60°C	<ul style="list-style-type: none"> • PERÍODO PARA DETERIORO DE CALIDAD DE TAZA • MENOS DE 1 HORA

- El café tolerará 40°C por un día o dos
- El café tolerará 50°C por pocas horas: 4 a 10 horas
- La tolerancia a 60°C es por un período menor a 1 hora.

El sobrecalentamiento durante el secado produce sabores agrios o “cocinados” en la bebida de café. Para establecer la temperatura del café en proceso de secado, se debe remover una muestra de la secadora, colocarla rápidamente en un contenedor aislante, como un “termo”, colocar un termómetro y tomar la lectura más alta de temperatura a pocos minutos de la toma. (MARCALA-2010)

En cuanto al aprovechamiento de la energía según la etapa de secado se puede decir que:



Anexo N°:2

“Etapa A, B, C de la validación”, Hoja de toma de datos del Testigo

Código de hoja:

Lugar de muestreo, finca:

Fecha:

Variedad de café:

Dueño de la finca:

Altura

Tratamiento

Fecha	Hora AM/PM	Temperatura	H.Relativa	Peso	Observaciones

Este formato fue utilizado en las tres etapas de la validación

Anexo N°:3

“Etapas A y B de la validación”, Hoja de toma de datos del secador (tarima del primero y segundo piso)

Código de la hoja:

Lugar de muestreo, finca:

Fecha:

Variedad de café:

Dueño de la finca:

Altura

Tratamiento

Hora	H.R	Temp.	Peso/ Primer piso	Peso/ Segundo piso	Plástico negro	Observaciones

Se colocó una muestra en cada tarima (secador y testigo), se pesaron las muestras y estas se compararon entre si, a las cuales se les dio un seguimiento, transcurrido un periodo de 4 horas se intercambiaron de lugar las muestras y después se trasladaron las muestras al piso (plástico negro) y al final se pesó la muestra para determinar la cantidad de agua que perdió. En los Anexos 1 y 2 las hojas de control de datos que se muestran fueron utilizadas en el ciclo de cosecha 2007-2008, correspondientes a las etapas A y B de la validación.

Anexo N°:4

“Etapa C de la validación”, Hoja de toma de datos del secador (utilizando tarimas de un piso)

Código de la hoja:

Lugar de muestreo, finca:

Fecha:

Variedad de café:

Dueño de la finca:

Altura

Tratamiento:

Fecha	Hora AM o PM	H.Rela	Temp. °C	Peso Lbs.	Observaciones

Se colocó una muestra en cada tarima(secador y testigo), se pesaron las muestras y se les dio el mismo tratamiento e secado, al final se pesaron las muestra para determinar la cantidad de agua que ambas perdieron. Este formato fue utilizado durante el ciclo de cosecha 2008-2009 correspondiente a la etapa C de la validación del secador solar.

Anexo N°:5

“Etapa C de la validación”, Hoja de toma de datos del secador (velocidad del Aire)

Código de la hoja:

Lugar de muestreo, finca:

Fecha:

Variedad de café:

Dueño de la finca:

Altura

Tratamiento:

Fecha	Hora	H.R	Temp. °C	Veloci aire m/s		Observaciones
	AM o PM			Entrada	Salida	

Este formato fue utilizado durante el ciclo de cosecha 2008-2009 correspondiente a la etapa C de la validación del secador solar. En esta etapa se comenzó a medir la velocidad del aire.

Anexo N°:6, Tabla de Resumen de Discusión de Resultados

Secador	Temperatura	Capacidad de Secado	Fuente de energía	Ubicación
de Flujo			Combustión Fósil	
de tambor	300 a 800°C		Combustión Fósil	
de lecho Fijo	El flujo de aire que se utiliza para el secado de granos en este tipo de secador varía de 10 a 30 m³ de aire por cada metro cúbico de producto. La temperatura del aire de secado varía entre 35°C a 70°C		Combustión Fósil y Eléctrica	
Solar directo		12,12 kg/m² en 3 días efectivos de sol, equivalentes a 4,04 kg/m².día.	Solar y Eléctrica	El secador se coloca con su dimensión mayor (largura) en la dirección N
Solar parabólico (Evaluado)	Alcanza temperaturas máximas de 60°C en el beneficio seco y en el beneficio húmedo alcanza 54°C., con una diferencia de 8 C promedio en comparación con el ambiente.	En 30 días efectivos el secador solar puede secar unos 105 qq (4.77 Ton) de café pergamino, seca 24.97 kg/m² en 3 días hábiles de secado.	Solar	se coloca en la dirección del viento
Solar de tambor		es posible secar 14 kg/m² en 5 días efectivos, equivalentes a 2,9 kg/m².d	Eléctrica y Solar	Está orientado en la dirección N
Solar parabólico			Solar	En contra de la dirección del viento
Solar Indirecto (Circulación Forzada)			Solar y Eléctrica	
Solar de tipo	Este logra alcanzar temperaturas máxima de has 50 °C y en días muy soleados con capas de 3 cm el secador puede tardar de 3 a 4 días y en días lluvioso 9 días	, adecuada para atender el secado de café de una finca con producción anual de 1500 kg de café por ciclo	Solar	

Anexo N°:7, Tabla de Costos del secador (Estructura)

Taza de cambio (C\$22)

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Estructura (armazón de hierro galvanizado)	Unidades	1	330	330
Plástico Negro	Yarda	22	1	22
Plástico Trasparente	Yarda	54	1,17	61,36
Alambre de amarre	Libra	1	1,2	1,2
Tarimas	Unidades	6	7	42
Total				\$456,56

En la tabla del **Anexo N°:10**, solo con el ahorro en un ciclo de cosecha casi se recupera la inversión en la compra total de la estructura. Esto quiere decir que en un año bien se puede recuperar la inversión.

Anexo N°:8, Tabla de depreciación del secador solar

Concepto	Costo Total	Vida útil	Dep. Anual
Estructura (armazón de hierro galvanizado)	330	6 años	55
Plástico Negro	22	2 años	11
Plástico Trasparente	61,36	2 años	30,68
Alambre de amare	1,20	2 años	0,60
Tarimas	42	2 años	21
Total	\$457		\$118,28

En esta tabla se detalla cuanto se deprecia la estructura (vida útil) y la inversión anual que se realiza por ciclo de cosecha que es de **\$118,28**

Realizando una comparación entre los dos tratamientos de secado, en cuanto al tiempo e inversión por ciclo de cosecha, se obtienen las siguientes tablas

Anexo N°:9, costos del Secado tradicional (60 días)			
Concepto	Costo unitario	Cantidad	Total
Pago de mano de obra(3 personas)	\$3,00	60 días	180
Alimentación trabajadores (2 tiempos)	\$2,50	3 personas	900
Transporte de Materia prima	\$1	105 qq	105
Tarimas	\$3,50	6 unidades	21
Total			\$1.206

Anexo N°:10, Costos de secado al usar el secador solar (30 días efectivos)			
Concepto	Costo unitario	Cantidad	Total
Pago de mano de obra(3 personas)	\$3,00	30 días	90
Alimentación trabajadores (2 tiempos)	\$2,50	3 personas	450
Transporte de Materia prima	\$1	105 qq	105
costo de inversión por ciclo (Depreciación del Secador Solar anualmente)	\$118,28	1 unidad	118
Total			\$763
Ahorro por usar el Secador solar	\$443	63,14%	

Como se puede observar por usar el secador solar se obtiene un ahorro del 63,4% de inversión por ciclo de cosecha, tomando como referencia los gráficos N°: 18 y 19 en los que se muestra el tiempo que tarda el secador y el testigo en reducir el 15 % de humedad en un día de secado y la capacidad de secado que tiene el secador estimando la producción de un ciclo de cosecha (ver ahorros en **pág. 65**). El secador al reducir los tiempos de secado a la mitad, reduce el costo de inversión por ciclo de cosecha.

Anexo N°:11

Registros de control de prueba de catacion

Etiquetas de las muestras del secado del Café en pergamino

Muestra Numero:

7

Lugar: San Rafael del Norte

Nombre de la finca: El socorro

Nombre del productor: Reinaldo Pineda

Variedad de Café: Caturra

Tipo de Muestra: Secada con el secador Solar

Peso de la muestra: 4lbs

Altura: 1154 msnm

Fecha de retiro de la muestra: 24/12/08

Código: (23125548)

Muestra Numero:

8

Lugar: San Rafael del Norte

Nombre de la finca: El socorro

Nombre del productor: Reinaldo Pineda

Variedad de Café: Caturra

Tipo de Muestra: Testigo de Secado (En Zarandas al aire libre)

Peso de la muestra: 4lbs

Altura: 1154 msnm

Fecha de retiro de la muestra: 24/12/08

Código: (23125551)

Muestra Numero:

9

Lugar: San Rafael del Norte

Nombre de la finca: El socorro

Nombre del productor: Reinaldo Pineda

Variedad de Café: Caturra

Tipo de Muestra: Secada con el secador Solar

Peso de la muestra: 4lbs

Altura: 1154 msnm

Fecha de retiro de la muestra: 26/12/08

Código: (24125044)

Muestra Numero:

10

Lugar: San Rafael del Norte

Nombre de la finca: El socorro

Nombre del productor: Reinaldo Pineda

Variedad de Café: Caturra

Tipo de Muestra: Testigo de Secado (En Zarandas al aire libre)


Peso de la muestra: 4lbs

Altura: 1154 msnm

Fecha de retiro de la muestra: 26/12/08

Código: (24125047)

Anexo N°: 12, Detalle de Muestras 7



EXPORTADORA ATLANTIC, S.A.
GRUPO ECOM
 Centro Ejecutivo San Marino # A - 101. Mang. Nic. TEL.: 278-1477 (78) FAX: 270-4331
BENEFICIO ATLANTIC : SEBACO, MATAGALPA.
BENEFICIO SANTA ELENA : OCOTAL, NUEVA SEGOVIA

DETALLE DE MUESTRA

No. de Muestra: 7

Recibo No. _____

Fecha: 19/02/09 Humedad: 11.80

Agencia / Cliente : Un Norte Esteli

Clase de Café : APS

Sacos : _____ QQ. Netos : _____

TAMIZ	GRAMOS	%
Criba # 19	<u>14.60</u>	
Criba # 18	<u>6.4070</u>	
Criba # 17	<u>124.80</u>	
Criba # 16	<u>78.20</u>	
Criba # 15	<u>37.50</u>	
Criba # 14	<u>20.10</u>	
Debajo de Criba # 14	<u>6.20</u>	
Imperfectos	<u>3.90</u>	
Total	<u>350</u>	

Exportable: 98.90% Imperfectos: 1.10%

Observaciones: Gr. APS = 921.30 Gr. B = 762.50
Gr. Imp B = 40 Gr. R = 0.82.80%

Taza: B/78 Mbboso

Defectos: 10C presenta 4 def. primarios y 6 def. secund.

Aspecto: _____

Densidad: 251.30%

Litografía " SAN AGUSTIN " Ocotal, N.S. -Telefax: 073 23289 - (50T02C) 21/01/2009

En esta hoja se observa que el puntaje en la Taza es de B/78 que significa que es Bueno y es de un 98.90 % exportable, con un % de humedad antes de ser catada de 11.80 %. La muestra fue secada en el "Secador Solar" (ver datos de secado en anexo N°:11) .En la siguiente hoja se muestra el análisis organoléptico y sensorial de la muestra.



Perfil de la Tasa

Tipo	2008/2009
Analisis	7

FINCA
CLIENTE Uni esteli
ZONA
CALIDAD APS

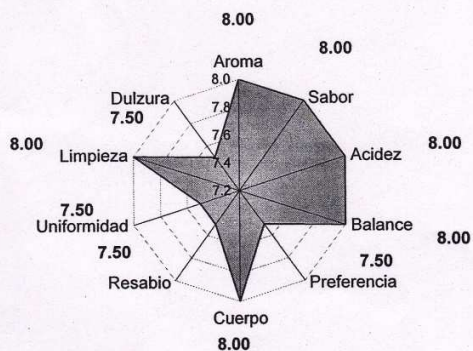
Aroma 8.00
Sabor 8.00
Acidez 8.00
Balance 8.00
Preferencia 7.50
Cuerpo 8.00
Resabio 7.50
Uniformidad 7.50
Limpieza 8.00
Dulzura 7.50

Taints
SCORE: 78.00

Escala de Calidad		
61 a 69	B-	REGULAR
69 a 78	B	BUENO
79 a 83	B+	MUY BUENO
84 a 90	BB	EXCELENTE
91 a 100	A	EXTRAORDINARIO

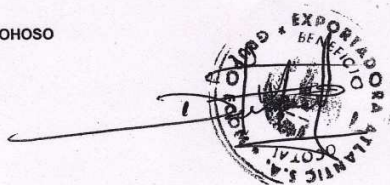
LABORATORIO OCOTAL

Características del Perfil de la Tasa



COMENTARIO MOHOSO

TUESTE: Bueno



19/08/009

Anexo N°: 13, Detalle de Muestra 8



EXPORTADORA ATLANTIC, S.A. GRUPO ECOM

Centro Ejecutivo San Marino # A - 101. Mang, Nic. TEL.: 278-1477 (78) FAX: 270-4331

BENEFICIO ATLANTIC : SEBACO, MATAGALPA.

BENEFICIO SANTA ELENA : OCOTAL, NUEVA SEGOVIA

DETALLE DE MUESTRA

No. de Muestra: 8

Recibo No. _____

Fecha: 19/02/09 Humedad: 12.40

Agencia / Cliente: Un Norte Esteli

Clase de Café: APS

Sacos: _____ QQ. Netos: _____

TAMIZ	GRAMOS	%
Criba # 19	39.40	
Criba # 18	87.50	
Criba # 17	110.60	
Criba # 16	63.70	
Criba # 15	24.40	
Criba # 14	15.60	
Debajo de Criba # 14	4.50	
Imperfectos	4.30	
Total	350	

Exportable: 98.80% Imperfectos: 1.20%

Observaciones: G: Aps = 1128.30 G: Dio = 934.70

G: Im R: Dio 82.80%

Taza: B/78 Astingente

Defectos: 9 (Presenta 3 defectos primarios y 6 defectos secundarios)

Aspecto: _____

Densidad: 251.30%

Litografía " SAN AGUSTIN " Ocotal, N.S. -Telefax: 073 23289 - (50T02C) 21/01/2009

En esta hoja se observa que el puntaje en la Taza es de B/78 que significa que es Bueno, y es de un 98.80 % exportable, con un % de humedad antes de ser catada de 12.40 %. La muestra fue secada en el "Testigo" (ver datos de secado en anexo N°:11). En la siguiente hoja se muestra el análisis organoléptico y sensorial de la muestra.



Perfil de la Tasa

Tipo	2008/2009
Análisis	8

FINCA
CLIENTE Uni esteli
ZONA
CALIDAD APS

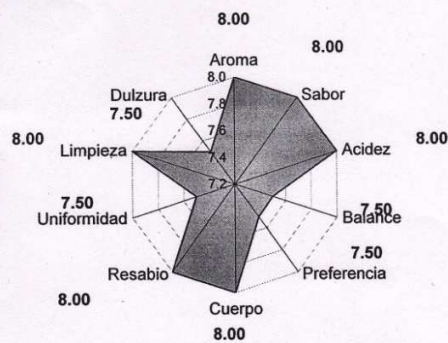
Aroma 8.00
Sabor 8.00
Acidez 8.00
Balance 7.50
Preferencia 7.50
Cuerpo 8.00
Resabio 8.00
Uniformidad 7.50
Limpieza 8.00
Dulzura 7.50

Taints
SCORE: 78.00

Escala de Calidad		
61 a 69	B-	REGULAR
69 a 78	B	BUENO
79 a 83	B+	MUY BUENO
84 a 90	BB	EXCELENTE
91 a 100	A	EXTRAORDINARIO

LABORATORIO OCOTAL

Características del Perfil de la Tasa



COMENTARIO ASTRINGENTE

TUESTE: Bueno



19/08/009

Anexo Nº:14, Detalle de Muestra 9



**EXPORTADORA ATLANTIC, S.A.
GRUPO ECOM**

Centro Ejecutivo San Marino # A - 101. Mang, Nic. TEL.: 278-1477 (78) FAX: 270-4331

BENEFICIO ATLANTIC : SEBACO, MATAGALPA.

BENEFICIO SANTA ELENA : OCOTAL, NUEVA SEGOVIA

DETALLE DE MUESTRA

No. de Muestra: 9

Recibo No. _____

Fecha: 19/02/09 Humedad: 11.40

Agencia / Cliente : Vin Norte Esteli

Clase de Café : APS

Sacos : _____ QQ. Netos : _____

TAMIZ	GRAMOS	%
Criba # 19	28.60	
Criba # 18	80.50	
Criba # 17	112.30	
Criba # 16	61.80	
Criba # 15	36.20	
Criba # 14	19.50	
Debajo de Criba # 14	5.80	
Imperfectos	5.30	
Total	350	

Exportable: 98.50% Imperfectos: 1.50%

Observaciones: Gr APS = 1137.90 Gr 0.00 = 931.60

Gr Imp Reio = 82.10

Taza: B/80 Suave ligero dulce

Defectos: 7 (Presenta 3 defectos primarios y 4 defectos secundarios)

Aspecto: _____

Densidad: 252.80%

Litografía " SAN AGUSTIN " Ocotal, N.S. -Telefax: 073 23289 - (50T02C) 21/01/2009

En esta hoja se observa que el puntaje en la Taza es de B/80 que significa que es muy Bueno y es de un 98.50 % exportable, con un % de humedad antes de ser catada de 11.40 %. La muestra fue secada en el "Secador Solar" (ver datos de secado en **anexo Nº:11**). En la siguiente hoja se muestra el análisis organoléptico y sensorial de la muestra.



Perfil de la Tasa

Tipo	2008/2009
Analisis	9

FINCA
CLIENTE Uni esteli
ZONA
CALIDAD APS

Aroma	8.00
Sabor	8.00
Acidez	8.00
Balance	8.00
Preferencia	8.00
Cuerpo	8.00
Resabio	8.00
Uniformidad	8.00
Limpieza	8.00
Dulzura	8.00

Taints
SCORE: 80.00

Escala de Calidad		
61 a 69	B-	REGULAR
69 a 78	B	BUENO
79 a 83	B+	MUY BUENO
84 a 90	BB	EXCELENTE
91 a 100	A	EXTRAORDINARIO

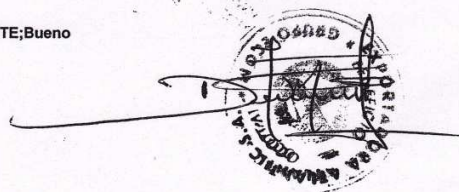
LABORATORIO OCOTAL

Características del Perfil de la Tasa



COMENTARIO SUAVE LIGERO DULCE

TUESTE; Bueno



19/08/009

Anexo N°:15, Detalle de Muestra 10



**EXPORTADORA ATLANTIC, S.A.
GRUPO ECOM**

Centro Ejecutivo San Marino # A - 101. Mang, Nic. TEL.: 278-1477 (78) FAX: 270-4331

BENEFICIO ATLANTIC : SEBACO, MATAGALPA.

BENEFICIO SANTA ELENA : OCOTAL, NUEVA SEGOVIA

DETALLE DE MUESTRA

No. de Muestra: 10

Recibo No. _____

Fecha: 19/02/09 Humedad: 12.50

Agencia / Cliente : Nhi Norte Esteli

Clase de Café : APS

Sacos : _____ QQ. Netos : _____

TAMIZ	GRAMOS	%
Criba # 19	30.50	
Criba # 18	82.60	
Criba # 17	112.70	
Criba # 16	62.30	
Criba # 15	36.60	
Criba # 14	13.40	
Debajo de Criba # 14	5.60	
Imperfectos	6.30	
Total	350	

Exportable: 98.20% Imperfectos: 1.80

Observaciones: Gr APS=112030 Gr Oro=92870

6.1m Retiro=8290/-

Taza: B/78

Defectos: 7 (presenta 4 def. primario y 3 def. secundario)

Aspecto: _____

Densidad: 244.20%

Litografía " SAN AGUSTIN " Ocotal, N.S. -Telefax: 073 23289 - (50T02C) 21/01/2009

En esta hoja se observa que el puntaje en la Taza es de B/78 que significa que es Bueno y es de un 98.90 % exportable, con un % de humedad antes de ser catada de 12.50 %. La muestra fue secada en el "Secador Solar" (ver datos de secado en anexo N°:11). En la siguiente hoja se muestra el análisis organoléptico y sensorial de la muestra.



Perfil de la Tasa

Tipo	2008/2009
Analisis	10



FINCA
CLIENTE Uni esteli
ZONA
CALIDAD APS

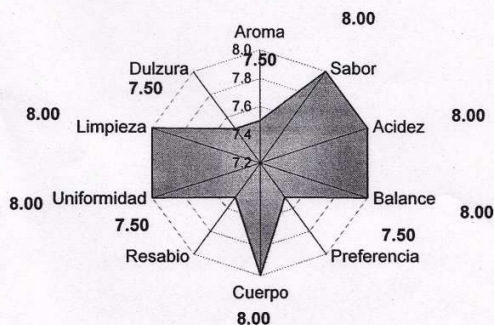
Aroma 7.50
Sabor 8.00
Acidez 8.00
Balance 8.00
Preferencia 7.50
Cuerpo 8.00
Resabio 7.50
Uniformidad 8.00
Limpieza 8.00
Dulzura 7.50

Taints
SCORE: 78.00

Escala de Calidad		
61 a 69	B-	REGULAR
69 a 78	B	BUENO
79 a 83	B+	MUY BUENO
84 a 90	BB	EXCELENTE
91a 100	A	EXTRAORDINARIO

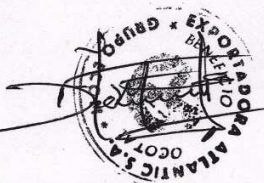
LABORATORIO OCOTAL

Características del Perfil de la Tasa



COMENTARIO HIERVAL

TUESTE: Bueno



19/08/009

Anexo N°: 16

Fotos de las validaciones del secador solar
Secador solar 2007 (UNI-NORTE)



Secador solar 2007-20008



Secador solar 2008-2009

